

CAPÍTULO 9
TAREAS CIENTÍFICO-TECNOLÓGICAS

DOSIMETRÍA FÍSICA

DOSIMETRÍA BIOLÓGICA

DOSIMETRÍA DE LA CONTAMINACIÓN INTERNA

EFFECTOS DE LA IRRADIACIÓN PRENATAL SOBRE
EL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL EN DESARROLLO

INDICADORES DIAGNÓSTICOS Y PRONÓSTICOS APLICABLES
A SITUACIONES DE SOBREEXPOSICIÓN ACCIDENTAL

ASESORAMIENTO MÉDICO EN RADIOPROTECCIÓN

ACTIVIDADES DE LOS LABORATORIOS DE ANÁLISIS RADIOQUÍMICOS

DETECCIÓN DE ENSAYOS NUCLEARES

ACTIVIDADES DE LOS LABORATORIOS DE MEDICIONES DE RADIACIÓN

ACTIVIDADES DEL LABORATORIO DE ENSAYOS DE FILTROS

DESARROLLO DE TÉCNICAS PARA LA DETECCIÓN DE ACTIVIDADES
NUCLEARES NO DECLARADAS

DESARROLLO DE TÉCNICAS PARA LA MEDICIÓN DE RADÓN

USO DE CÓDIGOS TERMO-HIDRÁULICOS PARA EVALUACIONES
DE SEGURIDAD DE CENTRALES NUCLEARES DE POTENCIA Y
OTRAS INSTALACIONES RELEVANTES

DESARROLLO DE MODELOS COMPUTACIONALES PARA EVALUACIONES
DE LA SEGURIDAD DE CENTRALES NUCLEARES

DESARROLLOS ELECTRÓNICOS EN APOYO A LAS TAREAS
REGULATORIAS

CENTRO DE ESPECTROMETRÍA DE MASAS CON ACELERADOR

TAREAS CIENTÍFICO-TECNOLÓGICAS

La ARN cuenta con laboratorios e instalaciones ubicadas en el Centro Atómico Ezeiza, partido de Ezeiza, provincia de Buenos Aires, que le permiten efectuar mediciones y determinaciones necesarias para cumplir con su función regulatoria. Las principales tareas llevadas a cabo en esta área son:

- ✓ Desarrollar sistemas de medición de dosis que permitan establecer el cumplimiento de niveles apropiados de protección de las personas.
- ✓ Determinar la presencia de radionucleidos en el ambiente, alimentos y otras matrices biológicas.
- ✓ Participar en la verificación del cumplimiento del Tratado de prohibición total de ensayos nucleares.
- ✓ Realizar estudios sobre transferencia de nucleidos en el ambiente para ser luego utilizados en modelos de evaluación de dosis en el público.
- ✓ Realizar estudios sobre fenomenología y mitigación de accidentes severos en centrales nucleares.
- ✓ Realizar la vigilancia radiológica ambiental en los alrededores de instalaciones nucleares.
- ✓ Efectuar estudios sobre los efectos biológicos de las radiaciones.
- ✓ Evaluar, a través de dosímetros físicos y biológicos, situaciones de sobreexposición accidental.
- ✓ Asesorar sobre la conducta médica a seguir en caso de accidente por radiación.
- ✓ Realizar desarrollos electrónicos en hardware y software como soporte a distintas tareas regulatorias.

Para el desarrollo de estas tareas la ARN cuenta con:

- ✓ Laboratorio de dosimetría física compuesto por:
 - Laboratorio de dosimetría termoluminiscente
 - Laboratorio de desarrollo
 - Sala de calibraciones
- ✓ Laboratorios de radiopatología y dosimetría biológica formados por:
 - Sala de microscopía
 - Laboratorio para técnicas de hibridación
 - Salas de cultivos celulares
 - Laboratorios de mediciones
- ✓ Laboratorios de mediciones:
 - Contador de cuerpo entero
 - Laboratorio de medición por espectrometría gamma
 - Laboratorio de medición por espectrometría alfa y medición de actividad alfa y beta total
 - Laboratorios de medición de actividad de bajo fondo
- ✓ Laboratorios radioquímicos:
 - Laboratorio para el análisis de muestras con altas actividades
 - Laboratorio para para el análisis de muestras con bajas actividades
 - Laboratorio para para el análisis de muestras con actividades intermedias
 - Laboratorio para medición de estroncio 90
 - Laboratorio para medición de tritio
 - Laboratorio para medición de carbono 14

- ✓ Laboratorio de apoyo electrónico
- ✓ Laboratorio de detección de partículas de uranio
- ✓ Laboratorio de detección de yodo 129
- ✓ Laboratorio de medición de radón
- ✓ Laboratorio de procesamiento de muestras ambientales
- ✓ Laboratorio de evaluación de la contaminación interna

Laboratorios de la Autoridad Regulatoria Nuclear en el Centro Atómico Ezeiza



A continuación se describen las principales tareas rutinarias y de desarrollo llevadas a cabo en los laboratorios mencionados durante 1998.

DOSIMETRÍA FÍSICA

La medición por medios físicos de las dosis recibidas por los trabajadores en las diferentes instalaciones y prácticas con radiaciones ionizantes permite realizar evaluaciones respecto de la seguridad radiológica de dichas instalaciones.

Los especialistas en Dosimetría Física tienen la función de prestar su asistencia técnica en evaluaciones dosimétricas específicas requeridas por los grupos involucrados en las inspecciones regulatorias. Para cumplir con esta función cuentan con laboratorios y equipamiento, además de técnicas y siste-

mas de medición que deben mantener operativos con la precisión y exactitud adecuadas. El desarrollo de nuevas técnicas y procedimientos hacen posible una realización más eficiente de las tareas de apoyo regulatorio.

Las instalaciones con que cuenta el grupo de especialistas de dosimetría física son:

- ✓ Laboratorio de calibración de detectores sensibles a radiación gamma, compuesto por:
 - Recinto de irradiación con sistema de visión remota.
 - Fuente de cesio 137 utilizada como patrón terciario.
 - Banco de calibración con sistemas de posicionamiento para calibrar detectores personales y de campo.
 - Maniqués para calibraciones en función de la dosis equivalente personal y dosis en extremidades.
 - Maniquí antropomorfo Rando-Alderson.
- ✓ Laboratorio de calibración de detectores para contaminación superficial beta-gamma y alfa-gamma compuesto por:
 - Banco de calibración con sistemas de posicionamiento para distintas geometrías de irradiación.
 - Fuentes superficiales de calibración: cloro 36, carbono 14, estroncio 90 + itrio 90, americio 241, cesio 137.
- ✓ Laboratorio de calibración de detectores sensibles a radiación de neutrones compuesto por:
 - Recinto de irradiación de neutrones.
 - Banco de calibración con sistemas de posicionamiento para detectores personales y de campo
 - Fuentes calibradas de americio-berilio y californio 252.
 - Maniqués para calibraciones en función de la dosis equivalente personal.
 - Sistemas de detección de neutrones compuesto por: dos sistema multiesfera con detectores de helio, un sistema multiesfera con detectores TLD de Li7 y Li6, dos rémetros y un sistema basado en detectores de helio para detección con fines de salvaguardias.
- ✓ Laboratorio de dosimetría termoluminiscente (TLD). Cuenta con:
 - Detectores para medir radiación gamma, neutrónica y beta.
 - Sistemas lectores de TLD asistidos por computadora.
 - Horno y mufla para tratamientos térmicos.
- ✓ Laboratorio de dosimetría por trazas nucleares compuesto por:
 - Sistema de procesamiento de material sensible (CR-39).
 - Horno para revelado del material.

Los principales servicios y tareas de apoyo a los grupos regulatorios llevados a cabo durante 1998, por el grupo de dosimetría física estuvieron relacionados con los siguientes temas:

Dosimetría personal

Provisión de dosímetros y evaluación dosimétrica gamma y neutrónica del personal de la ARN y de expertos de organizaciones internacionales, ABACC y OIEA.

Mediciones especiales

Se realizaron evaluaciones dosimétricas gamma del personal técnico y médico y en los ambientes de trabajo durante la realización de prácticas médicas. Las mediciones se llevaron a cabo durante la administración de yodo 131 con fines terapéuticos en los servicios de medicina nuclear de los Hospitales Álvarez, Ramos Mejía y de Clínicas José de San Martín.

Dosimetría computacional

La utilización de programas de simulación de transporte de la radiación se ha extendido a la dosimetría física, dando lugar a la dosimetría computacional. El laboratorio aplica esta disciplina tanto a la simulación de la respuesta de los detectores neutrónicos, como a la evaluación de dosis gamma en maniqués que permiten la calibración de dosímetros gamma.

Intercomparaciones

✓ **Argentina**

La ARN organizó la cuarta intercomparación de los laboratorios que prestan servicios de dosimetría personal en el país, en el marco del convenio firmado entre la ARN y la CNEA.

Este ejercicio estuvo dirigido a evaluar la capacidad de medir la dosis equivalente personal. El 77% de las irradiaciones se realizaron sobre el maniquí definido en la norma ISO 4037 y las restantes irradiaciones se llevaron a cabo en aire, libre de receptor.

Las irradiaciones efectuadas con radiación x en las calidades ISO de RX (W60, W110 y W200) y radiación gamma de cobalto 60 fueron realizadas en el Centro Regional de Referencia de la CNEA, mientras que las irradiaciones correspondientes a cesio 137 se efectuaron en el laboratorio de calibración de la ARN. El ejercicio de intercomparación incluyó un cuestionario, que completaron los participantes, para conocer las características de los distintos sistemas de dosimetría con que cuentan.

En el ejercicio participaron el 60% de los laboratorios existentes en la Argentina, enviando sus resultados el 90% de los participantes. El laboratorio de dosimetría física de la ARN participó en calidad de laboratorio verificador de las irradiaciones con dosímetros termoluminiscentes. Los resultados obtenidos por los laboratorios fueron correctos en un 83%, para las irradiaciones en aire libre, y en un 88% para las irradiaciones sobre maniquí.

La evaluación de los resultados obtenidos indica que es necesario continuar organizando ejercicios de intercomparación en los siguientes años con el objeto de contribuir a mejorar la calidad de los servicios.

✓ **América Latina**

La ARN, a través del Laboratorio de Dosimetría Física, participó en la tercera fase del programa de Intercomparación Regional de dosímetros personales, en calidad de laboratorio verificador de las irradiaciones realizadas. La intercomparación fue llevada a cabo por el Laboratorio Secundario de la República de Cuba, con el auspicio del OIEA. Las irradiaciones se hicieron con radiación x sobre

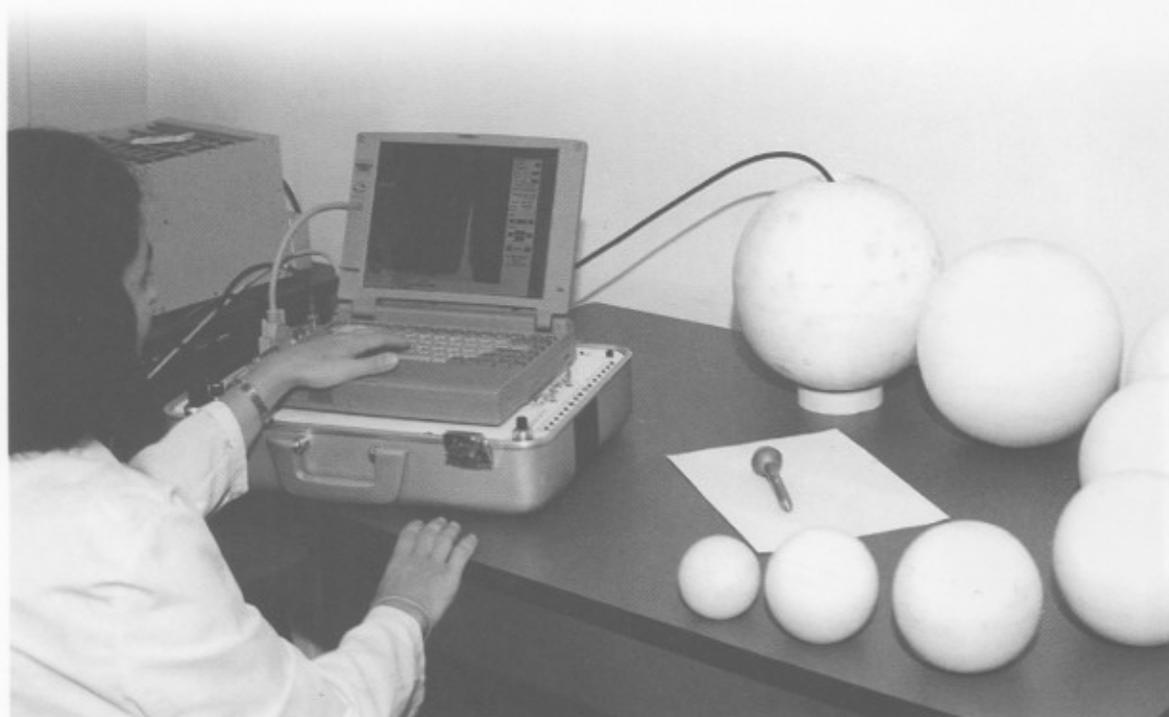
fantoma ISO 4037 en las calidades ISO de RX, W60, W80, W110 y W150 y cesio137. Los países participantes fueron: Chile, Uruguay, Venezuela, Bolivia, Perú, Brasil, Guatemala, Cuba, además de Argentina.

En el marco de los programas de intercomparación en América Latina la ARN participó, en La Habana (Cuba), en la organización del Taller donde se analizaron los resultados finales del ejercicio previo llevado a cabo en Buenos Aires en 1996. Durante el desarrollo del Taller, se designó al Laboratorio de Dosimetría Física de la ARN como laboratorio verificador de las irradiaciones para dosimetría personal de los laboratorios secundarios en América Latina.

Actividades del Laboratorio de calibración de dispositivos de medición de neutrones

Se calibraron diversos dispositivos de detección neutrónica, tanto con fines de protección radiológica como así también, de aplicación en salvaguardias. Se continuó con el diseño de los dispositivos necesarios para alcanzar patrones de exactitud adecuados. Se ha concluido el diseño de los sistemas de control de la atmósfera del recinto y se encuentra en etapa de construcción un sistema de elevación y posicionamiento de los dispositivos.

Sistema multisfera para detección de neutrones



A continuación se describen los proyectos desarrollados durante 1998:

Dosimetría del transporte aéreo

En el marco del proyecto para evaluar las dosis recibidas por las tripulaciones durante los vuelos comerciales, y teniendo en cuenta las conclusiones de la Conferencia Internacional sobre "Radiación Cósmica y Exposición de Dotaciones Aéreas: Implementación de los Requerimientos Europeos en la Aviación Civil" realizada en 1998 en Dublín, Irlanda, se analizaron las metodologías existentes para

la medición y evaluación de la dosis, las nuevas tecnologías aeronáuticas que proponen aumentar la altura de vuelo, así como las distintas visiones regulatorias de los países involucrados.

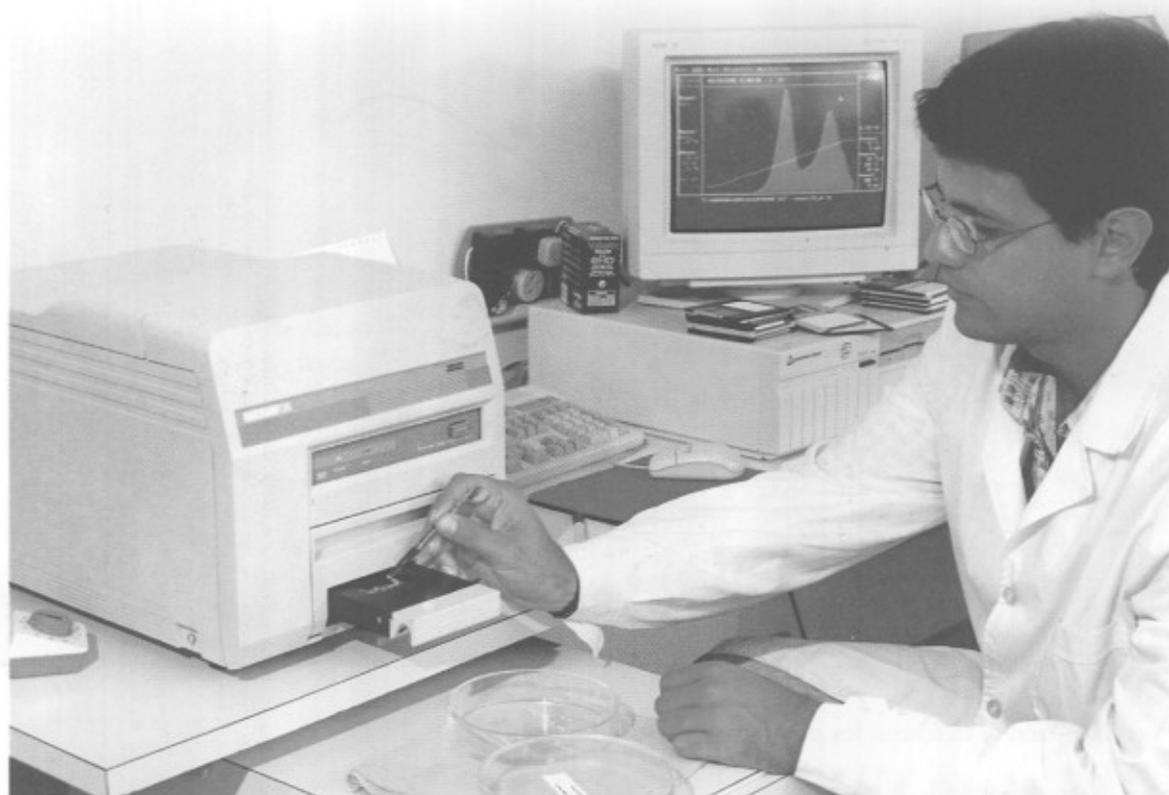
En el transcurso del año, se realizaron mediciones en la ruta Buenos Aires-Auckland y Buenos Aires-Dublín, utilizando detectores TLD y de trazas en distintos soportes de irradiación y detectores de burbujas.

Se trabajó en la determinación de la respuesta del sistema de medición basado en dispositivos esféricos con detectores TLD. Se puso a punto y calibró el detector contador proporcional tejido equivalente (TEPC).

Se extendió el conocimiento del sistema multiesfera basado en detectores de helio, al simularse con computadora la respuesta para radiación neutrónica de energías comprendidas entre 20 MeV y 100 MeV y al realizarse mediciones de radiación cósmica a nivel del mar.

Los desarrollos y mediciones descritos se realizan con el objeto de lograr evaluaciones sistemáticas de las dosis en las distintas rutas de interés señaladas por el Instituto Nacional de Medicina Aeroespacial.

Medición de detectores termoluminiscentes (TLD)



Dosimetría de Accidentes

Con el objetivo de mejorar la capacidad de respuesta en caso de accidentes de criticidad, se procedió a efectuar calibraciones en la columna rápida del reactor experimental RA 1 de la CNEA, de forma tal de contar con espectros neutrónicos conocidos para estudiar las respuestas de distintos

materiales. Los materiales de interés que fueron estudiados son: diferentes tipos de detectores y muestras biológicas (sangre y pelo, entre otras).

La medición y evaluación de los espectros de neutrones y de las dosis gamma, se realizó utilizando las técnicas de activación basadas en hojuelas de oro, indio, azufre y detectores termoluminiscentes.

Además, se calibraron el Contador de Todo el Cuerpo para la medición del sodio 24 activado en el cuerpo utilizando un maniquí de polietileno con ClNa disuelto en agua, y un detector de campo para la medición in situ de la activación del sodio 24.

Implementación de técnicas de Medición para Salvaguardias

Se colaboró con la ABACC en la implementación de métodos neutrónicos para la detección de material nuclear. Se realizaron mediciones de fondo e intercomparación de detectores en la planta de Aramar (Brasil) conjuntamente con expertos de la ABACC y el OIEA, previas a la utilización efectiva del método probabilístico de evaluación.

Se desarrollaron métodos computacionales para el cálculo del espectro de la emisión neutrónica aplicables a diversos materiales, como así también la respuesta de los distintos sistemas de detección.

DOSIMETRÍA BIOLÓGICA

La Dosimetría Biológica tiene como objetivo la estimación de la dosis de radiación ionizante recibida por un individuo, tanto proveniente de fuentes naturales como de aquellas producidas por el hombre, utilizando muestras extraídas del mismo organismo y procesadas por distintas metodologías.

La importancia del desarrollo de métodos biológicos que permitan detectar y cuantificar una sobreexposición quedó demostrada en diferentes accidentes ocurridos en el mundo. La información esencial para el manejo médico de las personas sobreexpuestas provino, en muchos de dichos casos, de datos biológicos.

La detección de sobreexposición y la estimación de la dosis a través de métodos biológicos, aplicados a muestras obtenidas de los propios individuos a evaluar, complementa las estimaciones dosimétricas realizadas por métodos físicos. Los métodos biológicos adquieren particular relevancia cuando las estimaciones por dosimetría física no están disponibles pues la persona no portaba dosímetro personal, cuando existen dudas de una sobreexposición accidental o intencional, cuando el escenario de sobreexposición no encuentra una caracterización acabada por métodos físicos y cuando es necesario el seguimiento de pacientes sometidos a irradiaciones médicas.

El objetivo del laboratorio de dosimetría biológica es asegurar la disponibilidad y proceder al mejoramiento permanente de dosímetros biológicos, que permitan evaluar dosis en situaciones provenientes de distintos escenarios de sobreexposición: individuales o que involucren a un alto número de personas, cuando la dosimetría es inmediata o retrospectiva, para diferentes calidades de radiación y diferentes volúmenes del cuerpo involucrados en la sobreexposición.

La dosimetría biológica se basa en que la radiación ionizante tiene como blanco principal el material genético (ADN-ácido desoxirribonucleico) de las células, el cual constituye los cromosomas conte-

nidos en el núcleo celular. El paso de la traza ionizante, a través del núcleo, induce rupturas cromosómicas y la maquinaria enzimática de reparación del daño radioinducido puede sellar rupturas, que se han recombinado en forma ilegítima, dando origen a las llamadas aberraciones cromosómicas y sus derivados citológicos, los micronúcleos. Estos indicadores biológicos de dosis son los más ampliamente convalidados y utilizados en los laboratorios de dosimetría biológica del mundo. La estimación de la frecuencia de aberraciones cromosómicas, la cual correlaciona con la dosis, constituye la base de la dosimetría citogenética.

El hecho de que existan distintos escenarios de sobreexposición hace que se requiera la utilización de diferentes tipos de indicadores citogenéticos. En todos los casos, las muestras biológicas obtenidas para efectuar la dosimetría son de sangre periférica, a partir de las cuales se efectúan cultivos celulares, a fin de obtener una población representativa de un tipo celular, los linfocitos, que expresan el daño cromosómico radioinducido durante la división celular.

El Laboratorio de Dosimetría Biológica de la ARN cuenta con la infraestructura necesaria para la aplicación de las distintas técnicas que conforman en la actualidad la dosimetría citogenética (accidental y retrospectiva), así como, para realizar tareas de desarrollo de nuevos dosímetros basados en la injuria radioinducida del material genético y estudios de investigación básica en el campo de la radiobiología, tendientes a aportar datos acerca de los mecanismos de producción de dicho daño.

Para desarrollar sus tareas el grupo de dosimetría biológica dispone de:

- ✓ Sala de cultivo equipada con un flujo laminar, donde realiza la preparación de los cultivos celulares en condiciones estériles. Cuenta con sistemas de incubación con condiciones de temperatura, humedad y flujo de gases controlados.
- ✓ Sala de microscopía donde se hallan instalados cinco microscopios ópticos, binoculares y con equipamiento fotográfico acoplado y para adquisición de imágenes por video.
- ✓ Laboratorio acondicionado para la realización de técnicas de hibridación, con temperatura controlada y limitación de radiación ultravioleta, equipado con microcentrífugas, baños termostatzados y microscopía de epifluorescencia.

Con el fin de implementar nuevos indicadores biológicos, mejorar la aplicación de aquéllos corrientemente en uso, efectuar desarrollos tendientes a ampliar la capacidad de respuesta del laboratorio, así como, para llevar a cabo las líneas de investigación básica en el campo de la radiobiología, durante el año, se encararon trabajos en distintas áreas.

Con tales propósitos se desarrollaron, en 1998, las siguientes tareas:

Dosimetría citogenética convencional

Se mantuvo la capacidad operativa del laboratorio para la evaluación dosimétrica de sobreexposiciones accidentales mediante técnicas citogenéticas convencionales (frecuencia de aberraciones cromosómicas inestables (ACI) identificadas por el método de Fluorescencia plus Giemsa (FPG), intercambio de cromátides hermanas (ICH) y micronúcleos y parámetros hematológicos: evaluación de la evolución del recuento de granulocitos, linfocitos, plaquetas y reticulocitos en sangre periférica.

Este laboratorio coordina el proyecto "Colaboración con Iberoamérica en Dosimetría Biológica" del Grupo Iberoamericano de Sociedades de Protección Radiológica (GRIAPRA).

Se continuó con la evaluación, por técnicas citogenéticas convencionales, de la frecuencia de ACI en muestras de sangre irradiadas en campos mixtos en la columna rápida del reactor RA 1 (CNEA) y su correlación con las dosis obtenidas por dosimetría física.

Análisis de metafases por microscopía

Dosimetría citogenética para evaluaciones retrospectivas

Cuando la evaluación dosimétrica debe realizarse tiempo después de producida una sobreexposición aguda, o en los casos en que la irradiación se produjo en forma prolongada o crónica (exposición ocupacional), es necesario recurrir a las aberraciones cromosómicas estables (ACE) como indicador citogenético. En este tema se efectuaron las siguientes tareas:

Se mejoró el ajuste de la curva de calibración para radiación gamma de cobalto 60 basada en la frecuencia de ACE, identificadas por Bando G en el rango de dosis de 0 Gy a 0,5 Gy.

Se completó la validación de la técnica de Hibridación in situ por Fluorescencia (FISH) y el modelo de extrapolación al cariotipo completo en base a la comparación con la curva de calibración del laboratorio para ACE identificadas por Bando G, analizando muestras de sangre de dadores de distintos grupos de edades y hábitos de vida (por ejemplo, condición de fumador o no fumador), en el rango de dosis de 0 Gy a 3 Gy. Este trabajo se desarrolla en el marco de Programa Coordinado de Investigación (CRP) del OIEA N°10129.



Evaluación de sobreexposiciones inhomogéneas

Con el fin de implementar un dosímetro adecuado para la evaluación de las sobreexposiciones que involucran sólo una parte del cuerpo, se procedió a la adecuación del laboratorio y la puesta a punto de la técnica "Ensayo de Cometa".

Esta técnica electroforética permite detectar daños radioinducidos en el DNA tales como: rupturas de simple cadena, sitios álcali lábiles y sitios de escisión-reparación incompleta al momento de la lisis en células individuales de distintos tejidos.

Estudios sobre Eficiencia Biológica Relativa

Se realizaron estudios relativos a la eficiencia biológica relativa de fotones de alta energía, con el objeto de contribuir al conocimiento de los mecanismos de acción de distintas calidades de radiación, para la producción del daño sobre el material genético. En este sentido, se efectuaron las siguientes tareas:

- ✓ Se completó la construcción de la curva de calibración en base a la frecuencia de ACI y micronúcleos, en el rango de dosis de 0 Gy a 3 Gy de fotones de alta energía, 6 MeV a 15 MeV, procedentes de un acelerador de uso médico y se efectuó el análisis de la eficiencia biológica relativa.
- ✓ En colaboración con el Departamento de Efectos Biomédicos del National Radiological Protection Board de Gran Bretaña, se continuó con el acondicionamiento de la línea de irradiación y la fuente de irradiación de partículas alfa del acelerador TANDAR (CNEA) y la construcción de los dispositivos portamuestras para efectuar irradiaciones de muestras de sangre con iones acelerados. Este trabajo se realiza con el fin de evaluar su eficiencia biológica relativa a través de la frecuencia de ACI y ACE, dentro del rango de transferencia lineal de energía de interés (60-80 keV/ μm) y contribuir al diseño del modelo de producción de aberraciones cromosómicas.

Análisis automatizado de aberraciones cromosómicas inestables (ACI)

Se completó la validación del software para la identificación automatizada de ACI en metafases con una aberración y una superposición como máximo y reconstrucción del cariotipo, incorporándose la posibilidad del uso del software a la actividad de rutina del laboratorio.

DOSIMETRÍA DE LA CONTAMINACIÓN INTERNA

La utilización de material radiactivo en actividades del ciclo de combustible nuclear, de la industria y la medicina, expone a los trabajadores y a las personas del público al riesgo de incorporación de radionucleidos, ya sea por inhalación, ingestión o a través de la piel sana o por heridas. La determinación de la cantidad incorporada de ese material radiactivo es parte esencial en la evaluación dosimétrica.

Para la estimación de la contaminación interna, se analiza la actividad retenida y/o excretada para determinar la dosis recibida por los diferentes órganos y tejidos. Esto permite, tanto verificar el cumplimiento de las normas vigentes, en cuanto a la limitación de dosis por radiación en trabajadores y en miembros del público, en condiciones normales de trabajo, como identificar una situación anormal y evaluar la gravedad de la misma, para decidir las acciones a tomar.

La estimación dosimétrica se basa en mediciones directas de todo el cuerpo, de órganos o de heridas, o en el resultado de métodos indirectos, mediante los cuales se realiza la determinación de radionucleidos en excretas o en el ambiente de los lugares de trabajo.

El grupo dedicado a la dosimetría de la contaminación interna, evalúa el resultado de las mediciones directas e indirectas, teniendo en cuenta factores tales como: las características físicas y químicas de las sustancias radiactivas, el modo de incorporación y los procesos metabólicos involucrados. Para ello, interpreta y aplica los modelos biocinéticos y dosimétricos recomendados por los especialistas internacionales, principalmente por la ICRP. Como herramientas de cálculo, se utilizan los códigos LUDEP 2.04 y CINDY 1.4, que permiten estimar incorporación y dosis a partir de datos de me-

diciones. También, participa en la elaboración de los planes de monitoreo aplicables a las instalaciones, así como, en la obtención de Límites Anuales de Incorporación (ALI) específicos para un dado ambiente de trabajo.

Durante 1998, el grupo de dosimetría de la contaminación interna realizó evaluaciones dosimétricas en base a las determinaciones de actividad retenida en órganos y/o excretada, respondiendo a consultas que involucraban la incorporación de material radiactivo por parte de trabajadores y de miembros del público, debido a prácticas médicas. También, realizó evaluaciones dosimétricas en base a los datos obtenidos de las mediciones de concentración de radionucleidos en aire en diferentes lugares de trabajo, análisis que fue utilizado en las inspecciones regulatorias para controlar el cumplimiento de las normas vigentes, en cuanto a la limitación de dosis en trabajadores. Además, se llevó a cabo la evaluación de las dosis recibidas por el personal médico y el público durante prácticas de medicina nuclear, en las que se realiza la administración terapéutica de yodo 131. Las mediciones y evaluaciones se llevaron a cabo en varios centros de medicina nuclear pertenecientes a hospitales de la ciudad de Buenos Aires.

Con el propósito de optimizar y certificar la evaluación de las incorporaciones individuales y las herramientas computacionales disponibles, se participó de ejercicios de intercomparación y validación de modelos biocinéticos. Durante 1998, se realizó el análisis final de los resultados obtenidos en un ejercicio de intercomparación auspiciado por el OIEA, en el que participaron los principales centros internacionales en la materia, donde se pudo apreciar que la ARN cuenta con herramientas apropiadas para encarar la estimación de dosis en caso de incorporación de material radiactivo. A partir de este ejercicio, se pudieron validar los modelos biocinéticos utilizados y los códigos de cálculo utilizados.

Durante el año, se resolvieron casos de evaluación de contaminación interna propuestos por la Comunidad Europea que involucraron diferentes radionucleidos y vías de incorporación.

EFFECTOS DE LA IRRADIACIÓN PRENATAL SOBRE EL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL EN DESARROLLO

Las irradiaciones prenatales constituyen el motivo más frecuente de consulta médica especializada, en el ámbito de la radiopatología. La frecuente incerteza acerca del conocimiento del estado de gravidez, así como la enorme importancia que revisten los métodos radiológicos de diagnóstico en la práctica médica, hacen que haya innumerables casos de irradiaciones intraútero, de los cuales sólo una pequeña minoría son comunicados. Entre los efectos generados por irradiaciones prenatales, los que conciernen al sistema nervioso central en desarrollo, son los más deletéreos y pueden dar lugar a la generación de retraso mental severo, como consecuencia de ciertas dosis administradas en los momentos de máxima sensibilidad. El sistema nervioso central es particularmente vulnerable a la acción de las radiaciones durante la vida prenatal, con un momento de máxima radiosensibilidad entre las semanas 8 y 15 de edad gestacional, durante el cual la frecuencia de retraso mental severo es del orden de 40% por Sv, mientras que entre las semanas 16 y 25 de edad gestacional es del 10% por Sv.

Aún cuando, globalmente, el sistema nervioso central en desarrollo revela una extrema radiosensibilidad a dosis muy bajas, la complejidad estructural del mismo determina que no todas las estructuras se comporten del mismo modo cuando son irradiadas, siendo la corteza cerebral uno de los blancos más sensitivos.

Aunque todavía no existe un consenso absoluto en relación al umbral de dosis, a partir del cual es posible verificar efectos ostensibles asociados al retraso mental severo, datos experimentales y epidemiológicos han señalado que algunas decenas de miligray serían suficientes para generar daño en las estructuras corticales que están vinculadas con las actividades intelectuales superiores.

Si bien los efectos asociados al retraso mental severo son corrientemente verificables a través de estudios morfológicos y macroscópicos, en los últimos años, se han realizado experiencias para estudiar los diversos mecanismos moleculares que se producen a partir de un evento ionizante que culminan en la generación de daño radioinducido en el sistema nervioso central. Entre estos mecanismos se pueden citar: la muerte celular y los mecanismos relacionados con la interrelación física y molecular entre los conjuntos neuronales (sinaptogénesis).

Con el objeto de estudiar los mecanismos de producción de daño y su correlación con la dosis, se reprodujeron experimentalmente condiciones de irradiación accidental del sistema nervioso central en desarrollo. El objetivo es testear diferentes hipótesis relacionadas con los mecanismos de producción de daño, así como, los umbrales de dosis asociados a los distintos efectos. Además, se ensayaron fármacos radioprotectores que operan a distintos niveles, con el fin de revertir los efectos observados.

Se trabajó con un modelo animal de irradiación intrauterina, utilizando ratas Wistar en el día 17 de edad gestacional que fueron irradiadas, en forma prenatal, con dosis de 1 Gy a 2 Gy y se obtuvieron muestras de corteza cerebral entre 1 y 24 horas postirradiación. Sobre estas muestras, y otras irradiadas *in vitro*, con dosis de 0, 1 y 2 Gy, se desarrollaron estudios bioquímicos, enzimáticos y celulares.

Cultivo de células del sistema nervioso central

El cultivo de células nerviosas (gliales y neuronales) puede configurar un instrumento de gran utilidad para el estudio de los efectos radioinducidos en el sistema nervioso central, ya que permiten trabajar con un sistema dinámico y aislado, sobre el que se puede intervenir sin el riesgo de efectos sistémicos, como ocurre en los sistemas *in vivo*.

Se llevaron a cabo cultivos de corto plazo, a través de la técnica denominada de micromasas corticales, con el objeto de realizar estudios de viabilidad celular, muerte celular programada (apoptosis) e incubaciones diferenciales con distintos fármacos.

Para cultivos de largo plazo, se implementaron técnicas sobre cubreobjetos previamente tratados para realizar luego estudios de inmunocitoquímica.

Estudios de la actividad de la enzima óxido nítrico sintetasa

El óxido nítrico aparece en diversos sistemas relacionado con mecanismos de comunicación intercelular y es el principal modulador de la liberación de glutamato. Este es el principal neurotransmisor excitatorio del sistema nervioso central, ya que actúa sobre un receptor postsináptico, generando la despolarización de la célula nerviosa. Un exceso en la estimulación del receptor lleva, a través de distintos mecanismos, a la muerte celular (excitotoxicidad). En el sistema nervioso central en desarrollo, el óxido nítrico participa, presumiblemente, en el control de los mecanismos de migración de las neuronas, que podrían verse alterados al variar su concentración por efecto de la radiación. Por tal razón, se llevó a cabo el estudio de la producción de óxido nítrico y la actividad de la enzima óxido

nítrico sintetasa, por medio de técnicas bioquímicas y de resonancia paramagnética electrónica. Pudo comprobarse un incremento significativo de la producción de óxido nítrico en forma inmediata y hasta dos horas postirradiación. Con respecto a la actividad de la enzima, se observó un aumento inmediato, manteniéndose hasta una hora postirradiación.

Cultivo de células nerviosas

Estudio sobre apoptosis radioinducida

La apoptosis o muerte cerebral programada es el modo paradigmático de muerte neuronal radioinducida a partir de un evento ionizante. Se trata de un mecanismo normal, presente durante todo el desarrollo embrionario del sistema nervioso central, pero que en presencia de ciertos neurotóxicos se incrementa hasta generar pérdida celular. Con el propósito de determinar si la apoptosis se ajustaba a una cinética dependiente de la dosis, se llevaron a cabo cultivos corticales de corto plazo, realizándose ensayos inmunocitoquímicos, morfológicos y moleculares para diferentes edades gestacionales. Se verificó un aumento en la apoptosis entre 4 y 24 horas postirradiación, siendo el fenómeno dependiente de la dosis. Además, los cultivos obtenidos el día 15 de edad gestacional resultaron más radiosensibles, en términos de apoptosis, que los obtenidos el día 17. Sobre el sistema, se ensayaron varios fármacos con acción neuroprotectora, resultando la N acetil cisteína la más eficaz.



Los estudios de viabilidad celular presentaron una estrecha correlación con las dosis utilizadas.

Se estudió, in vitro, la posible relación entre la apoptosis y los mecanismos de excitotoxicidad. Con ese objeto se utilizaron fármacos bloqueantes y excitatorios de los receptores involucrados.

Estudio de la expresión génica asociada a apoptosis

Se comenzó a estudiar la expresión de genes involucrados en la apoptosis, a través de una técnica de amplificación del ADN (PCR reversa). El objetivo es verificar si un grupo de genes asociados a la muerte cerebral programada se expresa a través de la producción del ARN mensajero. Los resultados preliminares demuestran la factibilidad de la hipótesis planteada.

INDICADORES DIAGNÓSTICOS Y PRONÓSTICOS APLICABLES A SITUACIONES DE SOBREEXPOSICIÓN ACCIDENTAL

Frente a una situación accidental, en la que se presume la existencia de individuos sobreexpuestos a radiaciones ionizantes, la estimación temprana de las dosis involucradas constituye un paso esencial e indispensable, previo a la toma de decisiones relacionadas con la conducta terapéutica. Junto a la dosimetría física y a la evaluación clínica temprana, el desarrollo de indicadores biológicos, constituye una prioridad para la estimación de la dosis absorbida y el establecimiento de criterios diagnósticos y pronósticos.

Con el objeto de disponer de dosímetros e indicadores biológicos que permitan la estimación temprana del rango de dosis absorbida, y la capacidad de los sistemas de responder al daño, se llevaron a cabo las siguientes tareas:

Estudio de los efectos radioinducidos en subpoblaciones linfocitarias

La médula ósea contiene el tejido hematopoyético, en el que una célula única (célula fuente o "stem cell") da origen a los distintos linajes celulares. La radiación induce la producción de daño a nivel del tejido hematopoyético, de intensidad variable según la dosis. El linfocito es una célula muy radiosensible, por lo que la disminución en el número de linfocitos circulantes, constituye uno de los signos más precoces de sobreexposición a radiaciones ionizantes. La serie linfocítica se compone de distintas subpoblaciones morfológicamente similares, pero funcionalmente diferentes: linfocitos B, linfocitos T inductores, linfocitos T supresores y linfocitos NK. Estas poblaciones linfocitarias pueden ser identificadas a través de la marcación con anticuerpos monoclonales de ciertos antígenos, característicos de su membrana celular.

La citometría de flujo es una técnica que permite analizar, cuantificar y clasificar células en suspensión, en base a parámetros tales como el tamaño y la granulosidad. Con la utilización de anticuerpos conjugados con colorantes fluorescentes, que se fijan específicamente a distintas estructuras de la célula, es posible obtener información adicional relacionada con la intensidad de fluorescencia emitida. El advenimiento de esta técnica ha permitido automatizar las técnicas de cuantificación celular, mejorar la precisión y la rapidez del análisis.

Se estudiaron las variaciones radioinducidas en las distintas subpoblaciones linfocitarias y la dinámica de su repoblación postirradiación, con el objeto de evaluar su aplicabilidad en situaciones de sobreexposición accidental.

Se realizó la cuantificación, por citometría de flujo, de las subpoblaciones linfocitarias, observando que todas experimentaban una caída en los valores absolutos, siendo los linfocitos B los que presentaban mayor radiosensibilidad. También, se observó un subtipo de linfocitos NK relativamente más radiorresistente. Esta radiorresistencia podría jugar un rol importante en el desarrollo de los fenómenos de rechazo, observados luego de un trasplante alogénico de médula ósea en las aplasias medulares radioinducidas, ya que los linfocitos NK tienen una función de vigilancia inmunológica, a través de su actividad citotóxica, contra una variedad de células tumorales, células infectadas por virus y células alogénicas.

Durante 1998, se concluyó con el estudio de las alteraciones sobre la actividad funcional de los linfocitos NK, a través de ensayos de citotoxicidad, luego de la irradiación *in vitro* de las células, con-

firmándose estadísticamente que la exposición a radiaciones ionizantes no sólo disminuye el número absoluto de linfocitos NK sino que además, afecta su actividad funcional citotóxica.

Los resultados obtenidos permiten inferir que el análisis del comportamiento de subpoblaciones linfocitarias por citometría de flujo, puede constituir una herramienta útil para el diagnóstico y seguimiento evolutivo en casos de sobreexposición accidental. La facilidad para la obtención de las muestras de sangre venosa periférica, y la rapidez en la obtención de los resultados, dentro de las primeras 24 horas, permitirían una evaluación precoz del alcance de la afectación medular en pacientes sobreexpuestos a radiación.

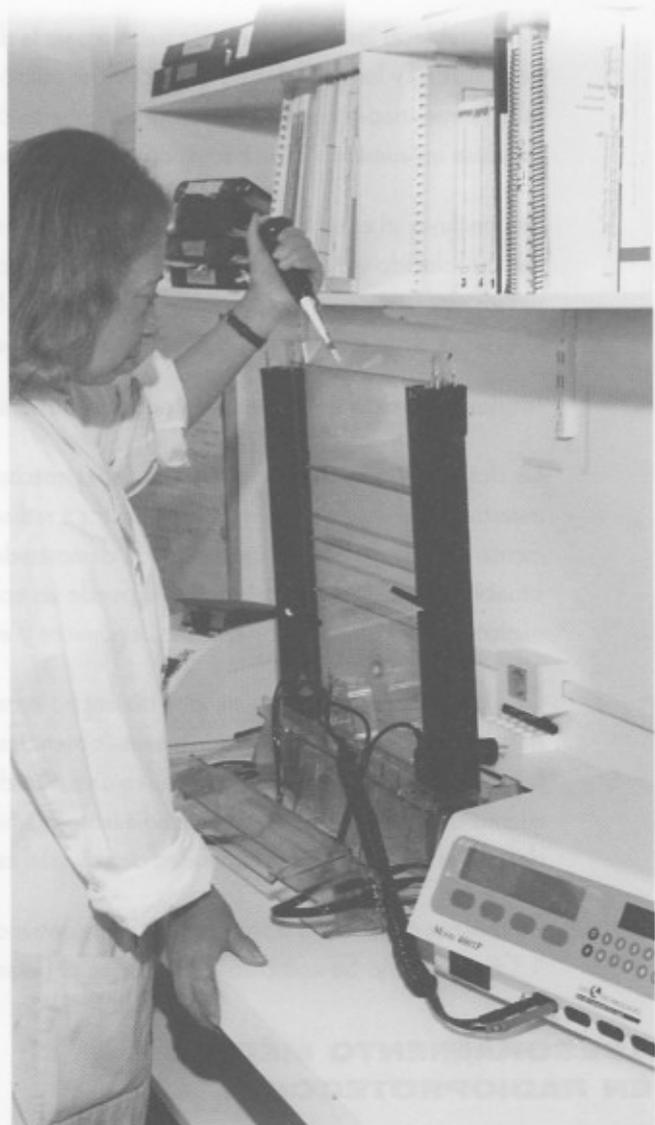
Determinación de actividad de telomerasa por técnica de PCR

Evaluación de las modificaciones radioinducidas en mecanismos enzimáticos de reparación del ADN

Durante 1998, se comenzó con el estudio de enzimas involucradas en los mecanismos de reparación del ADN. En particular, se trabajó en la implementación de la técnica de la determinación de la actividad de telomerasa. La función específica de esta enzima es la reparación del extremo terminal de los cromosomas (telómero celular). La longitud del telómero está estrechamente ligada a la sobrevivencia celular y el acortamiento del telómero, a un punto crítico, es una de las señales requeridas para el disparo de la muerte celular. Además, se ha propuesto recientemente, que la telomerasa podría estar involucrada en la reparación de las dobles rupturas en la cadena del ADN, como las producidas por acción de la radiación en el núcleo de la célula.

Por tal razón, la determinación de la actividad de telomerasa en stem cells de médula ósea, sería de vital importancia en la predicción de la repoblación de la médula ósea, luego de una aplasia radioinducida.

Se inició la determinación de la actividad de telomerasa en stem cells extraídas de sangre de cordón umbilical, por ser este medio más rico en stem cells que la sangre periférica, y además se utilizó una línea celular (KG1) que posee características de stem cells. Para ello, se puso a punto la técnica de purificación de las stem cells de sangre de cordón umbilical mediante anticuerpos específicos unidos a esferas magnéticas, obteniéndose una pureza del 95%.



Las células en estudio se irradiaron con dosis crecientes de 0,5 Gy a 4 Gy de rayos gamma, y se midió la actividad de telomerasa, 24 horas después de la irradiación, mediante una técnica que comprende la marcación isotópica, la amplificación del ADN (PCR reversa) y la posterior separación de los fragmentos en gel de poliacrilamida. Los resultados obtenidos mostraron una actividad creciente de la enzima con las dosis recibidas.

Evaluación de la frecuencia de mutaciones genéticas radioinducidas como indicador de daño radioinducido

La cuantificación y análisis del daño en el ADN se puede realizar por diversos métodos, por ejemplo estudiando la frecuencia de mutaciones en genes particulares, como el que codifica para la enzima Hipoxantina guanina fosfo ribosil transferasa (HPGRT), y posteriormente analizando la secuencia de bases.

Para establecer las condiciones de trabajo para la determinación de la frecuencia de mutaciones en el gen HGPRT y los métodos de detección, se utilizó una línea de células denominada V79. Estas células fueron irradiadas con una fuente de cobalto 60, con dosis de 2 Gy, 4 Gy y 6 Gy, comprobándose un aumento de la frecuencia de mutaciones.

Se concluyó el estudio sobre las células V79 y los resultados obtenidos permiten considerar que se han establecido y fijado los parámetros necesarios para la determinación de la frecuencia de mutaciones en este gen y que la metodología puede ser aplicada en otros campos de investigación, tal como el estudio de la radiosensibilidad de otros tipos de células.

Implementación de dosimetría por resonancia paramagnética electrónica

La dosimetría biofísica basada en la espectroscopía de resonancia paramagnética electrónica, en muestras de diente de individuos expuestos a radiaciones ionizantes, constituye una técnica complementaria de la dosimetría biológica, de demostrada utilidad en las reconstrucciones dosimétricas en situaciones accidentales. Este método puede ser aplicado también, en una variedad de materiales orgánicos, tales como hueso, azúcares, cerámicos y aminoácidos cristalizados.

Con el objeto de disponer de este dosímetro para su aplicación en sobreexposición accidental, se trabajó sobre piezas dentarias humanas, obtenidas durante prácticas odontológicas de rutina, que fueron expuestas a radiación gamma, en un rango de dosis de 0,5 Gy a 10 Gy. Se realizó el tratamiento de las muestras con un procedimiento químico adecuado, la posterior separación del esmalte dental y la evaluación de la intensidad de señal del espectro de resonancia paramagnética electrónica.

Se construyó una curva dosis-respuesta, encontrándose un buen ajuste lineal en el rango de dosis de 1 Gy a 10 Gy. Se comenzó a trabajar en el tratamiento de la señal para dosis inferiores a 1 Gy.

ASESORAMIENTO MÉDICO EN RADIOPROTECCIÓN

La respuesta a demandas de asesoramiento médico, en casos de exposiciones reales o potenciales a las radiaciones ionizantes, constituye una de las permanentes actividades del grupo de Radiopatología.

Se respondió a los pedidos de asesoramiento médico en el ámbito de las exposiciones ocupacionales y las consultas estuvieron relacionadas con evaluaciones individuales en trabajadores, con antece-

dentes patológicos o enfermedades en curso, que podrían modificar los riesgos asociados a la exposición a la radiación y estimación de la probabilidad de causación. Este tipo de asesoramiento, en general, es solicitado en el marco de pericias judiciales, con el objeto de determinar la posible asociación causal entre una determinada patología y el antecedente de exposición a las radiaciones ionizantes.

Se respondió a consultas sobre exposiciones médicas, realizando la evaluación clínica de pacientes que presentaban lesiones presuntamente radioinducidas como secuelas de prácticas médicas, derivados por distintos servicios hospitalarios.

En el caso de exposiciones prenatales, la exposición de mujeres gestantes a radiaciones ionizantes constituye un motivo de consulta relativamente frecuente. Las demandas provienen habitualmente de exposiciones médicas (radiodiagnóstico, radioterapia, medicina nuclear). En colaboración con los grupos de dosimetría física y dosimetría de la contaminación interna, se realizaron estimaciones de las dosis en el feto y de los riesgos asociados, de acuerdo a la edad gestacional.

Se actualizó el inventario de fármacos destinados al tratamiento de individuos que presentan contaminación radiactiva, externa o interna y de otros insumos requeridos para la toma de muestras biológicas y tratamiento de los pacientes. Se incorporaron dos sondas alfa/beta para la medición de contaminación en heridas. Todo este material se encuentra disponible en caso de ser necesaria su utilización, por la ARN o por los potenciales centros de derivación.

En el ámbito de la interrelación con centros internacionales de radiopatología, se continuaron los contactos con el Centro Internacional de Radiopatología del Hospital Curie y con el Hospital Saint Louis (París, Francia), sobre irradiación aguda localizada. Además, en el marco de proyectos ARCAL-OIEA, fue aprobado el programa de asistencia médica para enfrentar accidentes radiológicos en el continente americano que fuera presentado por la ARN. El programa, tendiente a conformar una red latinoamericana de radiopatología, cuenta con la adhesión de once países de la región. El proyecto se llevará a cabo durante el bienio 1999-2000. El objetivo es desarrollar un programa de cooperación regional en radiopatología que permita:

- Mejorar la calidad de la atención de pacientes sobreexpuestos.
- Lograr un consenso de criterios diagnósticos y terapéuticos.
- Optimizar los recursos disponibles en función de los intereses de la región.

También, se mantuvieron contactos con el Hospital Gregorio Marañón de Madrid, sede del Centro de Radiopatología de España y con el Laboratorio de Biología Celular del Centro de Investigaciones Bioenergéticas y Medioambientales (CIEMAT, Madrid, España) para extender los alcances del programa a la Península Ibérica. Durante 1998, la ARN fue designada como centro de referencia del Radiation Emergency Medical Preparedness Assistance Network (REMPAN), red internacional de la cual forman parte 10 países.

Organización de la respuesta médica en sobreexposiciones accidentales: véase Capítulo 8 de este Informe.

ACTIVIDADES DE LOS LABORATORIOS DE ANÁLISIS RADIOQUÍMICOS

En los laboratorios de análisis radioquímicos, se procesan muestras provenientes de los monitorajes ambientales y muestras obtenidas durante las inspecciones, evaluaciones y auditorías llevadas a cabo por personal de la ARN, en el desarrollo de su función regulatoria.

Se analizan muestras de distintos tipos, entre ellas: aguas, suelos, sedimentos, vegetales, filtros (muestras de aire y sweep-tests), muestras biológicas (orinas, heces y soplidos nasales) y alimentos de diferentes tipos constitutivos de la dieta. En dichas muestras, y según los requerimientos, se determinan uranio natural, uranio enriquecido, plutonio, americio, curio, neptunio, radio, torio, tritio, fósforo 32, estroncio 90, polonio 210 y actividad alfa y beta total.

Dada la necesidad de analizar muestras de diversos orígenes, con actividades muy variables y requerimientos muy diferentes en sus procesamientos, fue necesario implementar laboratorios de análisis radioquímicos independientes, contando cada uno de ellos con su correspondiente equipamiento, servicios, materiales y reactivos, no permitiéndose el intercambio entre los mismos.

- ✓ Laboratorio destinado al análisis de muestras con actividades elevadas, utilizado también para desarrollos radioquímicos. Este laboratorio cuenta con campanas de extracción y muflas para mineralización por vía seca.
- ✓ Laboratorio para el análisis de muestras con actividades intermedias y para el procesamiento de muestras provenientes de los monitorajes radiológicos ambientales en los alrededores de los complejos minero fabriles de uranio. Este laboratorio dispone de un equipo de fusión a 1100 °C, para la determinación de uranio por fluorimetría, campanas de extracción y placas calefactoras para mineralización por vía húmeda.
- ✓ Laboratorio para el procesamiento de muestras ambientales con muy baja actividad, donde además, se procesan las muestras correspondientes a las intercalibraciones. Este laboratorio cuenta con campanas de extracción resistentes a ácidos, columnas para separaciones utilizando resinas de intercambio iónico y sistemas para electrodepositar muestras para ser medidas por espectrometría alfa.
- ✓ Laboratorio para el acondicionamiento y procesamiento de muestras provenientes del monitoreo radiológico ambiental en los alrededores de las instalaciones radiactivas y nucleares. En este laboratorio también se procesan las muestras correspondientes al estudio de radionucleidos naturales en la dieta. El laboratorio cuenta con muflas hasta 1300 °C, equipos de molienda y homogeneizado de cenizas y una prensa mecánica para la fabricación de pastillas.
- ✓ Laboratorio para el procesamiento de muestras en las que se determina tritio. Este laboratorio cuenta con equipos de destilación y un sistema de concentración de tritio a través de electrólisis alcalina.
- ✓ Laboratorio para el procesamiento de muestras en las que se determina estroncio 90. Este laboratorio dispone de equipamiento para el procesamiento de muestras ambientales y para realizar técnicas extractivas.
- ✓ Laboratorio para el procesamiento de muestras relacionadas con la determinación de carbono 14 y tritio en residuos radiactivos. Este laboratorio cuenta con un equipo muestreador, con 4 viales conectados en serie para la separación de tritio y un cartucho conteniendo ascarita para la retención de carbono 14.

Laboratorio de procesamiento de muestras ambientales



Procesamiento de muestras para la determinación de uranio



A continuación se resumen las mediciones llevadas a cabo en los laboratorios de análisis radioquímicos, durante 1998:

- ✓ Se realizaron 894 análisis de diferentes radionucleidos alfa y beta emisores, 128 análisis de tritio y 252 análisis de estroncio 90.
- ✓ Se procesaron las muestras de aguas, sedimentos, vegetales y filtros correspondientes a las intercalibraciones semestrales organizadas por el EML (EE. UU.), validando las técnicas analíticas utilizadas en las determinaciones.

A continuación se detallan los desarrollos llevados a cabo durante 1998:

Determinación de americio 241 y curio 244 en presencia de otros actínidos

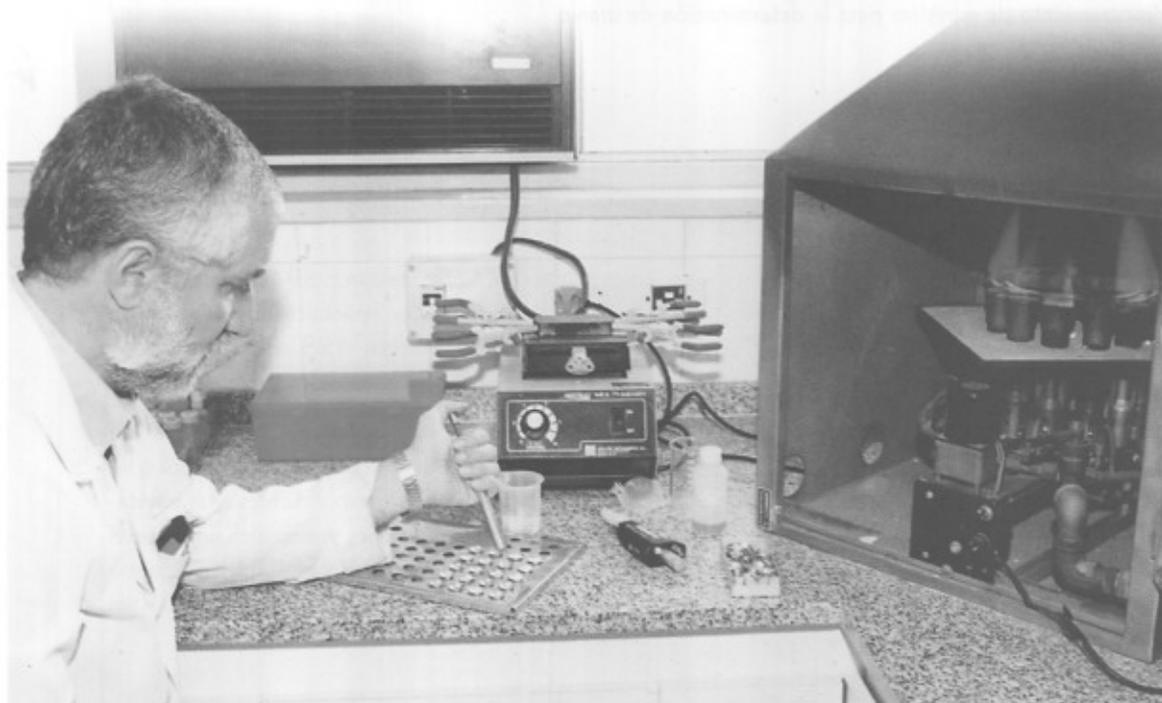
La técnica desarrollada consiste en separar, purificar y medir bajos nive-

les de americio y curio en diferentes muestras ambientales, tales como, sedimentos, vegetales, aguas y filtros. Se optimizaron los diferentes pasos de la secuencia separativa que utiliza una precipitación con hierro (III), posterior intercambio aniónico y catiónico con resinas, y extracción con solventes orgánicos apropiados. En estas condiciones la muestra puede ser electrodepositada, paso previo a su medición por espectrometría alfa. Los límites de detección fueron estimados en: 0,3 mBq/l para aguas, 15 mBq/kg para suelos y 0,2 mBq/filtro. La técnica fue validada a través de su utilización en el procesamiento de muestras en las intercalibraciones.

Determinación de uranio y plutonio en muestras ambientales

La técnica desarrollada consiste en una mineralización ácida exhaustiva, una precipitación y una posterior separación de los actínidos a través de columnas con resinas de intercambio aniónicas. Estos pasos son previos a la electrodeposición en medio ácido. Se optimizaron las condiciones de mineralización, para ajustarlas a los diferentes tipos de muestras y para disminuir los tiempos de procesamiento. Se ensayaron diferentes sustancias precipitantes, tales como Fe(III) y oxalato. Se estandarizaron las condiciones de separación a través de las resinas de intercambio, obteniéndose los rendimientos de recuperación para cada uno de los radionucleidos.

Determinación de uranio natural en muestras ambientales



Determinación de radio 226 en aguas y sedimentos

La técnica desarrollada consiste en una coprecipitación selectiva del radio, la disolución del precipitado y la medición del radón 222 y sus descendientes, por centelleo líquido con discriminación por forma de pulso. Con el propósito de disminuir los límites de detección de la técnica, se trabajó en la estandarización de las condiciones de medición y el ajuste de las ventanas de contaje. Los límites de detección alcanzados fueron estimados en: 0,3 mBq/l para aguas y 10 mBq/g para sedimentos. La técnica fue validada a través de su utilización en el procesamiento de muestras en las intercalibraciones.

Determinación de fósforo 32

Se continuó con la estandarización de la técnica para la determinación de productos de activación en pelo y lana, para la estimación de la dosis de neutrones en caso de accidentes nucleares. Para la determinación, se utilizan técnicas extractivas y medición por centelleo líquido.

Determinación de tritio y hierro 55

Con el fin de optimizar la técnica de determinación directa de tritio en agua, se realizaron curvas de quenching con diferentes sustancia quencheantes. Además, se evaluaron factores de mérito para la medición por centelleo líquido, para distintas ventanas de contaje. Se evaluaron los fondos de contaje para diferentes tipos de aguas: corriente de red, pozo, desionizada y agua "muerta". Esta última es la que proviene de una fuente acuífera perteneciente a un sistema hidrotermal de 60 metros de profundidad y con una antigüedad de 75 años, lo que asegura un bajo contenido en tritio. El límite de detección para la técnica fue estimado en 3,4 Bq/l. Se continuó con la optimización de la técnica de determinación de tritio por destilación, ajustándose la concentración de oxidante para eliminar la materia orgánica de las muestras. Esta técnica cuyo límite de detección fue estimado en 0,14 Bq/l, fue utilizada para la determinación de tritio en muestras de agua pesada. Se continuó con la optimización de la técnica de determinación de tritio en presencia de hierro 55, que fue validada a través de su utilización en el procesamiento de muestras en las intercalibraciones. Para optimizar la técnica de determinación de tritio por concentración por electrólisis en medio alcalino, se realizaron modificaciones en el equipo de concentración con el fin de evitar sustancias interferentes. El límite de detección alcanzado con esta técnica es 20 veces menor que con la determinación en forma directa.

Optimización de la técnica para la determinación de estroncio 90 en muestras ambientales y alimentos

La técnica consiste en una mineralización de la muestra, un proceso extractivo en medio ácido y una medición por centelleo líquido de itrio 90 en equilibrio. Se realizaron ensayos con trazadores radiactivos para estandarizar los rendimientos y se optimizaron las condiciones de medición. Los límites de detección fueron estimados en: 10 mBq/kg para alimentos sólidos y líquidos y 1 mBq/l para aguas potables. La técnica fue validada a través de su utilización en el procesamiento de muestras en las intercalibraciones.

Preparación de fuentes patrones para mediciones por espectrometría alfa

Con el propósito de determinar las eficiencias de medición de los equipos de espectrometría alfa y para realizar ensayos de separación de picos superpuestos en espectros de actínidos, es necesario contar con fuentes de calibración de características adecuadas. Para ello, y por medio de electrodeposición controlada, se prepararon fuentes patrones de un solo radionucleido y fuentes patrones con mezclas de actínidos. Se realizaron electrodeposiciones sucesivas con control de geometría, obteniéndose rendimientos cercanos al 100%.

Determinación de carbono 14 en residuos radiactivos

Se trabajó en la implementación de una técnica que permita determinar la concentración carbono 14 en residuos radiactivos líquidos y sólidos. Las muestras líquidas consideradas, provienen de los sistemas de enfriamiento del circuito primario de centrales nucleares y también, de los acuíferos cercanos a las trincheras de descarga de residuos radiactivos. La técnica implementada involucra la determinación de carbono 14 total (inorgánico y orgánico). Se estandarizaron las etapas de procesamiento previo de la muestra, se optimizó la adsorción final y las mediciones por centelleo líquido.

Separación y determinación de emisores beta en residuos radiactivos

Con el objeto de disponer de una técnica que permita la determinación de estroncio/itrio 90, níquel 63, hierro 59, cobalto 60, cerio 144 y cesio 137, en residuos provenientes de centrales nucleares, se implementó una marcha separativa basada en extracción cromatográfica con resinas de intercambio iónico, previa concentración por precipitación. Se trabajó con trazadores para determinar los rendimientos químicos del proceso. Se llevaron a cabo ensayos aislados de cada etapa de la separación, para verificar los factores de separación de interferentes y determinaciones sobre muestras conteniendo manganeso 54, hierro 59, cobalto 60, cinc 65, yodo 131, cesio 137, bario/lantano 140 y cerio 144.

DETECCIÓN DE ENSAYOS NUCLEARES

El establecimiento de un Sistema Internacional de Vigilancia (SIV) que permita detectar la ocurrencia de explosiones nucleares superiores a 1 kilotón y, en caso de que estas ocurran, permitir su identificación, caracterización y ubicación en forma precisa es uno de los objetivos del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (CTBT).

El sistema empleará cuatro tecnologías de detección: sísmica, hidroacústica, de radionucleidos e infrasonica. Estas técnicas combinadas con inspecciones en el lugar y mediciones asociadas permitirán cubrir todos los escenarios (explosiones subterráneas, en la atmósfera, subacuáticas, en la superficie de la tierra o del agua, o cerca de ellas).

El SIV prevé:

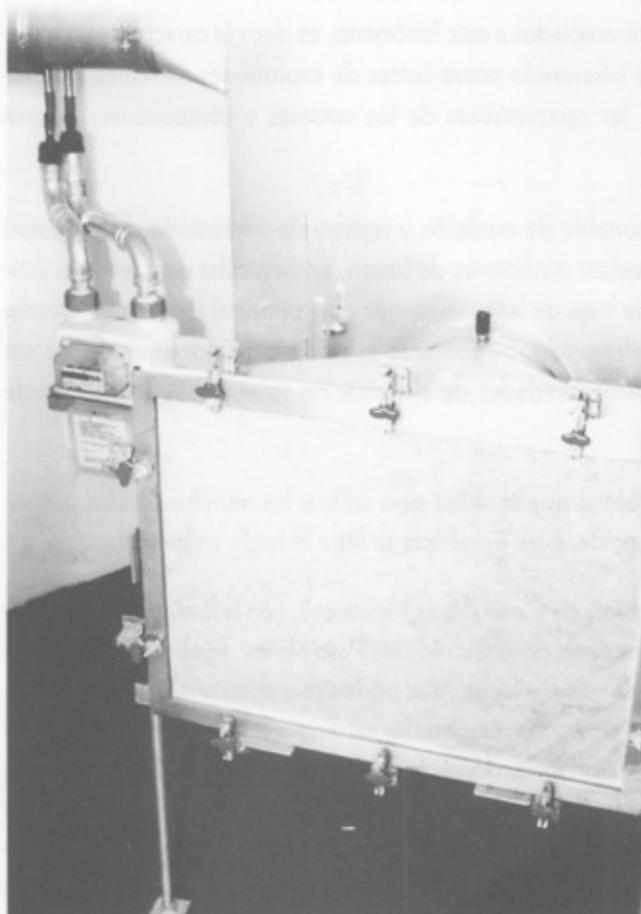
- ✓ **Para la red de detección de radionucleidos:** 80 estaciones para el monitoreo de aerosoles radiactivos en el aire, 40 de cuales deberán tener también capacidad para la detección de gases nobles. En la Argentina, se ubicarán 3 estaciones para la detección de aerosoles en Buenos Aires, Salta y Bariloche. Las dos primeras también deberán tener capacidad para la detección de gases nobles.
- ✓ **Para la red sísmológica:** 119 estaciones ubicadas en 57 países. En la Argentina, se encuentran ubicadas dos de estas estaciones en Paso Flores (provincia de Neuquén) y en Ushuaia. Estas estaciones, por decisión del Ministerio de Relaciones Exteriores, están a cargo del Instituto de Previsión Sísmica (IMPRES) sito en la provincia de San Juan.
- ✓ **Para la red de infrasonido:** 60 estaciones. En Argentina, serán ubicadas dos estaciones en las mismas localidades que las estaciones sísmológicas.

La instalación y operación de las estaciones de infrasonido y detección de radionucleidos es responsabilidad de la Autoridad Regulatoria Nuclear, la cual cuenta con un proyecto específico dentro de su plan de trabajo anual para llevar a cabo estas tareas.

Radionucleidos

Durante 1998, se continuó con la operación de la estación monitora de partículas instalada en la terraza del edificio de la Sede Central (RN1) de la ARN y el envío de los datos obtenidos al Centro Internacional de Datos de Arlington, EE. UU. (PIDC). La estación operó normalmente, cubriendo los 7 días de la semana con 5 muestreos. Todas las muestras se procesaron de acuerdo con los requerimientos del CTBT (24 horas de decaimiento como mínimo y 24 horas de medición). Durante el año, se tomaron, midieron, analizaron y enviaron al PIDC los resultados obtenidos correspondientes a 226 muestras.

Muestreador de aire



Se realizaron los estudios de emplazamiento para instalar las estaciones RN2 (Salta) y RN3 (Bariloche). En Bariloche, el lugar seleccionado para instalar la estación fue el cuartel de bomberos de Policía Federal ubicado en el aeropuerto de Bariloche. El convenio suscripto entre esta institución y la ARN asegura la atención y vigilancia de la futura estación.

El estudio de emplazamiento consistió en la toma de muestras de aire con un equipo de alto caudal de aspiración ($600 \text{ m}^3/\text{h}$) durante 24 horas y la medición de los filtros por espectrometría gamma de alta resolución con un detector blindado de GeHp. También, se tomaron muestras de vegetación y suelo que posteriormente se analizaron en los laboratorios de la ARN.

En la provincia de Salta, el lugar elegido fue el cuartel de Gendarmería Nacional que está ubicado en Chapopoyas (localidad situada en los suburbios de la capital de Salta). También en este caso, un convenio suscripto entre dicha institución y la ARN asegura la atención y vigilancia de la futura estación. Las tareas desarrolladas, durante los estudios de emplazamiento, fueron similares a las realizadas en el caso de Bariloche.



Estación
monitora de
radionucleidos
(Sede central
de la ARN)

Infrasonido

Se inició el estudio de los aspectos físicos asociados a este fenómeno, es decir la caracterización, generación y propagación de las ondas de infrasonido provenientes de explosiones nucleares y de fenómenos de origen natural, así como, las características de los sensores y componentes de una estación de detección de infrasonido.

Durante 1998, se diseñó un equipo portable de medición y registro de infrasonido. Este equipo puede ser transportado al campo para realizar mediciones de fondo, en particular para medir la incidencia de los vientos y calcular la línea de base de las señales, que es la principal tarea en un estudio de emplazamiento de una estación de infrasonido. Se comenzó el montaje de dos equipos con sus correspondientes componentes electrónicos, unidades de alimentación solar, tubos reductores de ruido y detectores de ondas infrasónicas.

También, se realizaron mejoras en el pistófono que se utiliza para calibrar los microbarógrafos sustituyendo el motor y se agregó una cámara rígida, para evitar que se filtre el ruido ambiental.

Se realizó un relevamiento de campo en el área de Cerro Alto (Neuquén), con la finalidad de preparar el estudio de emplazamiento de la futura estación de infrasonido de Paso Flores. También, se realizaron relevamientos en áreas cercanas a San Carlos de Bariloche, que podrían ser apropiadas para la instalación de un sensor de infrasonido de modo de poder comparar las mediciones realizadas en zonas densamente arboladas con las mediciones de Paso Flores, donde la vegetación es rala y de baja altura. Las grandes arboledas ayudan a reducir el ruido de fondo de las mediciones, que es provocado por los vientos. Por lo tanto, se estudió la conveniencia de trasladar el sitio de la futura estación de infrasonido de Paso Flores a Bariloche. Con ese fin se llevó a cabo, un nuevo relevamiento de áreas en la zona de Bariloche, para ubicar áreas arboladas y lo suficientemente extensas como para albergar una estación de infrasonido. Se estudiaron siete lugares, seleccionándose preliminarmente tres (la estancia Jones, la estancia "La Primavera" y el lugar conocido como Casa de Piedra, junto al arroyo del mismo nombre).

ACTIVIDADES DE LOS LABORATORIOS DE MEDICIONES DE RADIACIÓN

Para las mediciones de radiación, se dispone de las siguientes instalaciones y laboratorios:

Contador de todo el cuerpo

Este laboratorio está destinado a la medición directa de la contaminación interna de emisores gamma, disponiendo de los siguientes sistemas:

- ✓ Un recinto blindado con camilla articulada, equipado con dos detectores de INa(Tl), que se utiliza para mediciones rutinarias y no rutinarias de emisores gamma de energía superior a 100 keV.
- ✓ Un recinto blindado de bajo fondo con camilla articulada, equipado con un detector de INa(Tl) y un detector de germanio hiperpuro (GeHp) de 100% de eficiencia, que es utilizado en mediciones especiales donde se requiere alta resolución, alta eficiencia o medición sobre un órgano particular.
- ✓ Un sistema transportable parcialmente blindado, apto para mediciones en distintas instalaciones o situaciones accidentales, equipado con un detector de INa(Tl) blindado y un colimador.
- ✓ Un sistema para la medición de yodo 131 en tiroides, que cuenta con un detector de INa(Tl).

Durante 1998, las principales tareas realizadas en el contador de todo el cuerpo fueron:

- Calibración de los sistemas de medición utilizando fuentes puntuales y un fantoma tipo BOMAB con el tamaño de un hombre estándar. El fantoma contenía diferentes soluciones con material radiactivo, simulando una contaminación homogénea.
- Mediciones de yodo 131 en tiroides del personal médico perteneciente a los Servicios de Medicina Nuclear de los Hospitales Durand, Alvarez y de Clínicas, utilizando un sistema portátil con un detector de INa(Tl).
- Calibración de todos los sistemas de medición basados en detectores de INa(Tl) y germanio hiperpuro (GeHp) para cuerpo entero, tórax y abdomen.
- Participación en la intercalibración organizada por el Human Monitoring Laboratory (Canadá), dentro del marco del International in vivo Intercomparison Programme. Las determinaciones se llevaron a cabo en un fantoma tipo BOMAB femenino, identificándose cesio 137 y cobalto 60. Los resultados obtenidos, por la exactitud y precisión de los datos presentados, fueron altamente satisfactorios.
- Se realizaron 284 mediciones rutinarias y no rutinarias, incluyendo las determinaciones de yodo 125 y yodo 131 en tiroides, uranio 235 en pulmón y mediciones de cuerpo entero. Estas determinaciones fueron realizadas como servicio de medición al personal de la CNEA, ABACC, OIEA y de las empresas CONUAR S.A. y NASA, además de inspectores de la ARN.

Laboratorio de medición por espectrometría gamma

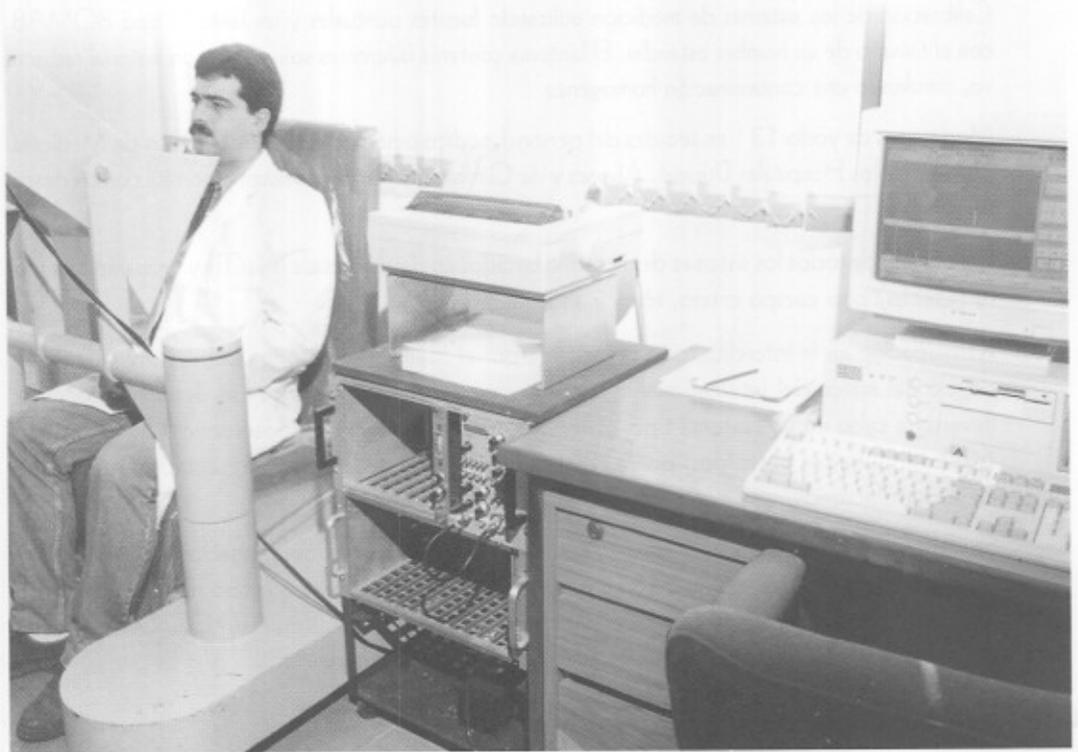
Para llevar a cabo las mediciones por espectrometría gamma se cuenta con las siguientes instalaciones:

- ✓ Un laboratorio equipado con dos sistemas de medición con detectores de GeHp, donde se analizan muestras recolectadas por los grupos operativos durante las inspecciones y muestras cuya actividad excede los niveles ambientales.
- ✓ Un laboratorio con cuatro sistemas de medición de bajo fondo, en el que se miden las muestras correspondientes al programa de monitoreo ambiental, las muestras del programa de intercalibración y otras, que por su nivel de actividad puedan ser medidas sin riesgo de contaminación de los detectores y blindajes, siendo también esta instalación el laboratorio secundario de la ARN para el CTBT.
- ✓ Un laboratorio con condiciones ambientales controladas, que cuenta con dos sistemas de bajo fondo y un detector de pozo de GeHp, para mediciones que requirieran de una alta eficiencia geométrica, contándose además con un detector planar para medición de radiación x y gamma de hasta 200 keV. Además, cuenta con dos detectores de GeHp de 60% y 100% de eficiencia, que son utilizados en mediciones especiales en las que se requiere un muy bajo límite de detección.

Durante 1998, las principales tareas realizadas en el laboratorio de medición por espectrometría gamma fueron:

- Actualización de las calibraciones de dos analizadores multicanales portátiles computarizados, para ser utilizados en las campañas de medición de tasa de emanación de radón, en mediciones de análisis no destructivo para salvaguardias, en mediciones durante auditorías regulatorias de sistemas de descarga al ambiente y en situaciones de incidente o accidente.
- Puesta en marcha y calibración de los sistemas de detección basados en detectores de GeHp que fueron incorporados durante el año.
- Verificación trimestral de la calibración de cada uno de los sistemas de detección, en las 12 geometrías de medición que se usan rutinariamente y control semanal de los fondos, como parte del programa de garantía de calidad.

Unidad transportable para la medición directa de la contaminación interna

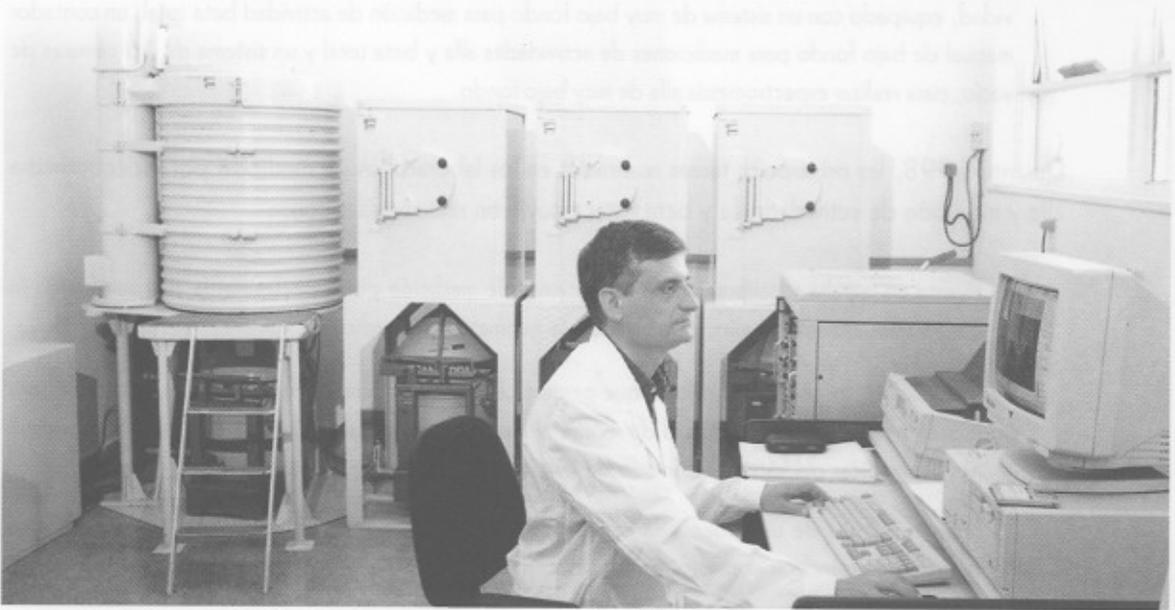


Contador de todo el cuerpo



- Auditoría en las mediciones de aerosoles y gases nobles en aire, llevadas a cabo en la CNE.
- Durante el año, se realizaron 360 mediciones, en el marco de inspecciones y auditorías y 785 mediciones relacionadas con estudios ambientales y como servicio a las diferentes actividades y proyectos de la ARN.
- Además, se participó en el programa de intercalibración organizado semestralmente por el EML/DOE (EE. UU.). Se realizaron mediciones sobre muestras de aguas, sedimentos, vegetales y filtros de aire contaminados con niveles ambientales de actividad, realizándose 295 determinaciones. Los resultados obtenidos mostraron una considerable mejora respecto a los años anteriores dado que, para ambas intercalibraciones todos los datos informados resultaron dentro de los límites de aceptabilidad establecidos por parte del EML.

Laboratorio de medición de muestras ambientales por espectrometría gamma



Sistema de medición de muestras ambientales por espectrometría alfa

Laboratorio de medición por espectrometría alfa y medición de actividad alfa y beta total

Para la realización de estas tareas, el sector cuenta con:

- ✓ Un laboratorio equipado con cuatro sistemas para medición por espectrometría alfa, con un total de 24 cámaras de vacío, para mediciones simultáneas; dos equipos de medición por centelleo líquido, contando ambos equipos con sistemas de discriminación alfa/beta por forma de pulso, para reducción del fondo en mediciones de muy baja actividad; un contador automático para mediciones de actividad alfa y beta total y un conjunto de 20 cámaras para mediciones de actividad alfa total por centelleo sólido. Este equipamiento es utilizado para la medición de todas las muestras enviadas por los diferentes proyectos y actividades de la ARN.



Sistema de medición de muestras ambientales por centelleo líquido



- ✓ Un laboratorio con condiciones ambientales controladas, para mediciones de muestras de muy baja actividad, equipado con un sistema de muy bajo fondo para medición de actividad beta total, un contador manual de bajo fondo para mediciones de actividades alfa y beta total y un sistema de 16 cámaras de vacío, para realizar espectrometría alfa de muy bajo fondo.

Durante 1998, las principales tareas realizadas en los laboratorios de medición por espectrometría alfa y medición de actividad alfa y beta total estuvieron relacionadas con:

- Puesta en marcha y calibración de los sistemas de medición por espectrometría alfa que fueron incorporados durante el año, optimizando la geometría de medición.
- Verificación del código de cálculo que permite obtener la eficiencia geométrica para mediciones por espectrometría alfa, sin necesidad de recurrir al uso de patrones calibrados, basándose en las condiciones geométricas del sistema (diámetro de la fuente y del detector y distancia fuente-detector).
- Mantenimiento de una adecuada calidad en la operatividad de las mediciones por espectrometría alfa, realizándose controles mensuales con verificación de la posición de los picos, eficiencias y fondos.
- Calibración y certificación de fuentes patrones electrodepositadas de uranio natural y enriquecido al 90%, de plutonio 239, plutonio 242, americio 241 y americio 243. También fueron calibradas soluciones de diferentes radionucleidos alfa y beta emisores, para ser usadas como trazadores o estándares en el procesamiento de muestras y en la puesta a punto de técnicas.
- Calibración y optimización de las condiciones de contaje para las mediciones por centelleo líquido en modo estándar, bajo fondo y discriminación por forma de pulso. Se establecieron las condiciones óptimas en base al análisis de los factores de mérito para mediciones de tritio, carbono 14, estroncio/itrio 90, níquel 63 y radón 222. Se analizaron las curvas de quenching para diferentes relaciones de volúmenes muestra/centellador, clases de centelladores y tipos de muestras.
- Estudio de la deconvolución de los picos obtenidos por espectrometría alfa. Se llevó a cabo el análisis de la superposición de los picos de americio 241 y americio 243 en fuentes electrodepositadas.
- Desarrollo de un programa para el procesamiento y análisis estadístico de los datos obtenidos por medición con espectrometría alfa y para la comparación con los datos reportados por el laboratorio de referencia.
- Identificación de uranio 236 en muestras de uranio natural por espectrometría alfa, con mediciones continuas de 30 días, en las que se mantuvieron condiciones estables de vacío y tensión.
- En los laboratorios de medición por espectrometría alfa se realizaron 360 mediciones de muestras procesadas en los laboratorios de análisis radioquímicos y que fueron remitidas por los diferentes proyectos o actividades de la ARN.
- Además, como parte del programa de garantía de calidad, se participó del programa de intercalibración organizado por el Departamento de Energía (DOE) y el Laboratorio de Mediciones Ambientales (EML) de Estados Unidos de América. El 100% de los datos presentados, en las intercalibraciones del primer y segundo semestre, estuvieron dentro de los límites de aceptabilidad establecidos por el EML.

ACTIVIDADES DEL LABORATORIO DE ENSAYOS DE FILTROS

Este laboratorio cuenta con un túnel de viento y banco de pruebas de filtros. El sistema es utilizado para la determinación de eficiencias de retención en filtros absolutos calidad HEPA, que son utilizados en las instalaciones, principalmente, para retener sustancias radiactivas reduciendo su descarga al ambiente. También, se realiza la verificación de la retención de gases radiactivos (yodo 131 y xenón 133) en lechos de carbón activado. El conducto que tiene 10 metros de longitud y 35 cm de diámetro, cuenta con un generador de aerosoles de testeo (DOP), para el cálculo de eficiencia. El sistema tiene control de humedad y temperatura a través de sensores adecuados y se puede variar el caudal para el ensayo de diferentes tipos de filtros. Además, la instalación cuenta con anemómetros, termómetros, caudalímetros y medidores de tamaños de aerosoles con tecnología láser. Además, se dispone de un taller para el desarrollo y armado de prototipos especiales.

Los especialistas en determinación de eficiencia de filtros actúan a demanda de los grupos de inspección, con el objeto de auditar el correcto funcionamiento de los filtros existentes en las diferentes instalaciones relevantes.

Durante 1998, se realizaron las siguientes tareas:

Se midió la eficiencia del sistema de filtro del reactor de investigación y producción de radioisótopos RA 3. En esta instalación, en particular, se verificaron las eficiencias de los sistemas de extracción y renovación de aire y de los bancos de filtros absolutos.

Se verificaron los filtros absolutos y de carbón de la planta de producción de radioisótopos de la CNEA.

Con el objeto de medir la descarga de efluentes gaseosos y aerosoles de la central nuclear Atucha y central nuclear Embalse, se tomaron muestras con bombas de aspiración y filtros de retención adecuados para diferentes radionucleidos.

En instalaciones radioquímicas de la CNEA, se verificaron caudales y distribución de flujos de aire en sistemas laminares y campanas de extracción.

Se midió la concentración de yodo 131 en aire, en diferentes servicios de Medicina Nuclear de hospitales de la Ciudad de Buenos Aires, durante la aplicación de dosis terapéuticas a pacientes.

Banco de pruebas filtros



DESARROLLO DE TÉCNICAS PARA LA DETECCIÓN DE ACTIVIDADES NUCLEARES NO DECLARADAS

Con el objeto de detectar actividades no declaradas de enriquecimiento de uranio o reprocesamiento de elementos combustibles, con fines de salvaguardia, se han implementado técnicas para la detección de radionucleidos contenidos en muestras ambientales tomadas en los alrededores de instalaciones nucleares.

Técnica para la detección de partículas de uranio

Con el propósito de contar con un sistema de gran sensibilidad para la detección de partículas de uranio en filtros, se continuó con la calibración y ajuste del sistema de autorradiografía electrónica.

Para obtener una mejor sensibilidad en el tamaño de las partículas a individualizar, se realizaron ensayos por medio de un microscopio electrónico, acoplado a un sistema de fluorescencia de rayos x, que permite determinar en las partículas observadas la presencia de uranio. Con este sistema se procesaron muestras de aire recolectadas en la fábrica de elementos combustibles nucleares. Se realizaron observaciones con diferentes tipos de papel, ya que los interferentes presentes pueden enmascarar la presencia de las partículas buscadas. También, se estudió el acondicionamiento de las muestras para evitar interferencias en el posterior proceso de determinación por espectrometría de masas.

Con tal fin, se realizaron ensayos de electrodeposición, para obtener una mayor masa de uranio en los filamentos de renio que se utilizan en la espectrometría de masas, y así aumentar la sensibilidad del sistema. Se efectuaron electrodeposiciones bajo similares condiciones a las utilizadas para muestras a ser medidas por espectrometría alfa.

Identificación de partículas en un filtro por el sistema de autorradiografía electrónica

Con el fin de validar las técnicas de determinación, se participó en la intercalibración organizada por la ABACC, para la determinación de la composición isotópica y de la masa de uranio, con muestras provistas por el DOE/OIEA. Se analizaron seis sweep-test, dos de los cuales eran consideradas muestras "blanco". Las muestras contenían una masa de alrededor de 250 ng de uranio, con diferentes grados de enriquecimiento. Las muestras fueron procesadas utilizando drogas ultrapuras para minimizar la presencia de uranio, y se utilizó un estándar de uranio 233. Se optimizaron las condiciones de trabajo utilizando matrices de similares características de las muestras a determinar, y se prepararon en paralelo muestras con estándares.

Además, como tareas preliminares y de apoyo a la puesta en marcha del espectrómetro de masas con acelerador, se prepararon una serie de muestras, de patrones de calibración y de muestras blanco de reactivos, que fueron analizadas en el espectrómetro de masas con acelerador de la Universidad de Munich (Alemania). Los patrones de calibración conteniendo uranio natural y enriquecido y plutonio 242 con masas del orden de los picogramos, fueron preparados utilizando hierro como soporte, en relaciones variables. Las muestras fueron adecuadamente preparadas y acondicionadas para ser cargadas en el portamuestra utilizado en el equipo de espectrometría de masas con acelerador.



Procesamiento de muestras para la detección de yodo 129

Técnica para la determinación de yodo 129

El yodo 129 que se halla en la atmósfera tiene dos orígenes: natural, debido a la reacción del xenón con la radiación cósmica en las altas capas de la atmósfera y artificial, producido por la fisión espontánea del uranio natural. Durante la operación normal de una planta nuclear, se libera al medio ambiente yodo 129 y en mayor magnitud durante el reprocesamiento químico de los elementos combustibles irradiados, al ser cortados para la recuperación del uranio no quemado y el plutonio generado. La medición de yodo 129 en el ambiente, en áreas circundantes a instalaciones nucleares, permitiría detectar actividades no declaradas de reprocesamiento.



Con el propósito de alcanzar un grado de sensibilidad adecuado para la detección de yodo 129 en matrices ambientales, y teniendo en cuenta su baja actividad específica (6 Bq/mg) y además, la baja energía de emisión de fotones del yodo 129 ($E = 29,78 \text{ keV}$), es necesaria la utilización de técnicas de activación neutrónica.

El desarrollo de la técnica para el análisis de muestras ambientales, se llevó a cabo en un laboratorio que cuenta con aire limpio y sobrepresión. Se estandarizaron y optimizaron las siguientes etapas:

Toma de muestra: Se seleccionaron tres áreas del país donde existen actividades de origen nuclear (CNA I, CNE y CAE) y un área considerada blanco (ciudad de Buenos Aires). Las muestras recolectadas fueron agujas de pino y cedro, ya que constituyen la matriz ambiental más conveniente para esta determinación, debido a sus características resinosas que retienen los aerosoles del yodo (yodo libre y compuestos de yodo orgánico e inorgánico).

Tratamiento preliminar y mineralización: Se estandarizó la etapa obteniéndose cenizas, libres de partículas carbonosas.

Purificación radioquímica pre-irradiación: Se optimizaron las etapas de:

- Destilación del yodo 129 y recolección en una solución alcalina.
- Extracción por solventes del yodo 129 y reextracción en medio acuoso.
- Destilación del yodo 129 y adsorción en carbón activado.

Irradiación neutrónica: La irradiación se llevó a cabo en el reactor RA 3 (CNEA). Durante la misma, el yodo 129 se convierte en yodo 130 por captura de un neutrón térmico y emite radiación gamma de mayor energía y rendimiento de emisión, que posteriormente se mide por espectrometría. De esta manera, se aumenta la sensibilidad de detección del yodo 129 en un factor mayor a 10 000.

Purificación radioquímica post-irradiación: Se optimizaron las etapas de destilación del yodo 130 y recolección en una solución alcalina.

Los equipos utilizados en las destilaciones fueron diseñados y adaptados conforme a los requerimientos de la técnica. Dada la alta tasa de exposición, se debió procesar las muestras en un laboratorio equipado con campanas y blindajes que aseguraran condiciones de trabajo seguras.

Las etapas de purificación pre y post-irradiación permitieron eliminar los interferentes en la medición por espectrometría gamma alcanzando un buen nivel de sensibilidad. La presencia de bromo en los vegetales resultó minimizada con la aplicación de esta técnica.

Medición por espectrometría gamma: El yodo 130 fue medido utilizando una geometría vial.

El rendimiento global de la técnica fue evaluado con yodo 131 como trazador radioquímico. Con la técnica optimizada y rendimientos cercanos al 70%, se pudo obtener un límite de detección de 2 mBq/kg de muestra.

Durante el año se analizaron muestras de diferentes plantas coníferas, recogidas en las áreas seleccionadas.

Con la técnica desarrollada, las concentraciones de actividad de yodo 129 en muestras de pino recolectadas en la ciudad de Buenos Aires fueron menores de 8 nBq/kg de muestra fresca. Las determinaciones realizadas sobre muestras pino y cedro recolectadas en los alrededores del centro atómico Ezeiza oscilaron entre 10 y 75 nBq/kg. Las muestras recolectadas en los alrededores de la CNE, entre 11 y 95 nBq/kg y las correspondientes a la CNA I, entre 350 y 550 nBq/kg.

DESARROLLO DE TÉCNICAS PARA LA MEDICIÓN DE RADÓN

Determinación de radón en aire

El gas radón y los radionucleidos resultantes de su desintegración, contribuyen con la mitad de la dosis efectiva recibida por el hombre debido a fuentes naturales de radiación.

Con el objeto de estimar las dosis debidas al radón y sus descendientes de período corto, se llevaron a cabo las mediciones rutinarias de la concentración de radón en viviendas y en los complejos minero fabriles de uranio. Se han llevado a cabo calibraciones y actualizaciones periódicas de los diferentes sistemas de medición.

Para la calibración, el laboratorio cuenta con una cámara de referencia de 1 m³ de volumen con cierres herméticos, que posee una antecámara a través de la cual se introducen los dispositivos a calibrar. Como fuente de emanación de radón, la cámara de referencia contiene mineral de uranio extraído del ex-complejo fabril Malargüe, provincia de Mendoza. La cámara consta de equipamiento para control de temperatura y presión, y para variaciones de humedad (desde 10% hasta 95%), concentración de radón (desde 450 Bq/m³ hasta 3500 Bq/m³) y de sus descendientes de período corto y de aerosoles, para la realización de pruebas en diferentes condiciones ambientales. La concentración de radón de la cámara de referencia, fue calibrada por el método de Lucas, considerado método patrón. El laboratorio cuenta, además, con un recinto de experimentación que posee las dimensiones de una habitación estándar con posibilidad de variar la tasa de renovación de aire y la concentración de radón y sus descendientes.

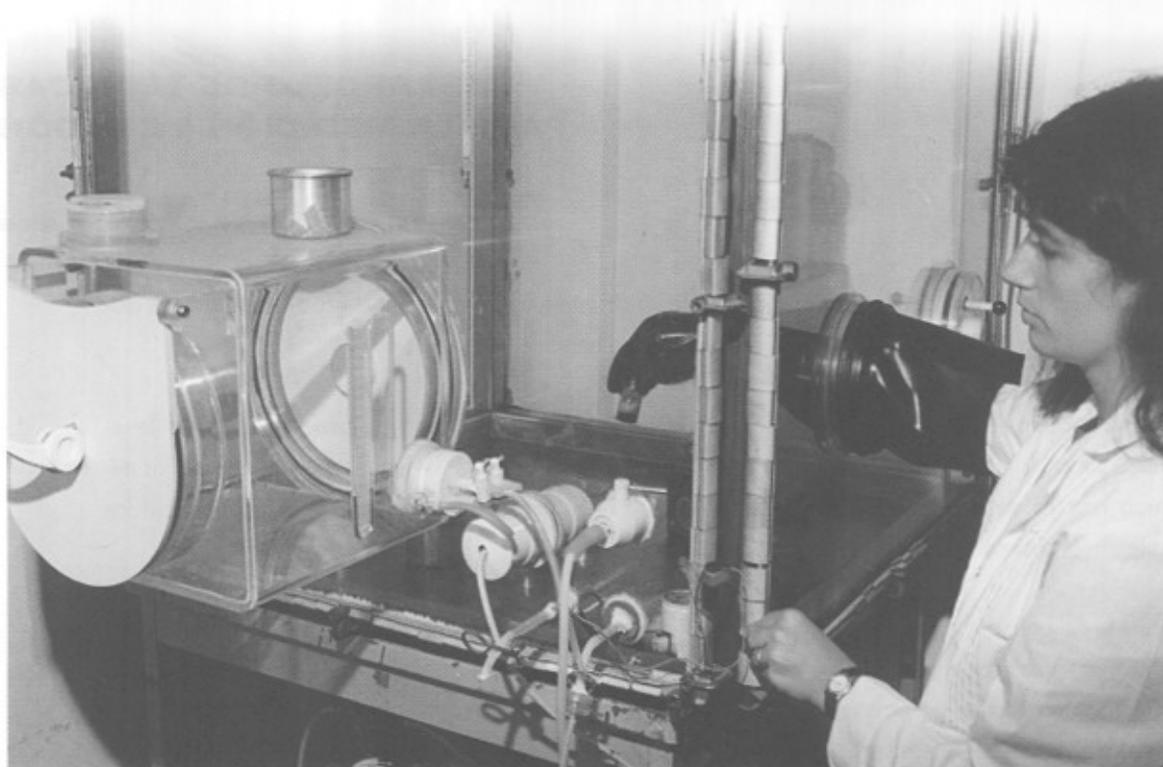
Básicamente, se estudian los distintos factores ambientales y artificiales que influyen en la variación de la concentración de radón y de sus descendientes de período corto. En cada estudio, se midió la concentración de radón y sus descendientes de período corto, tanto adheridos como no adheridos a aerosoles, así como, la concentración de aerosoles.

Para la determinación de la concentración de radón, el laboratorio dispone de contadores de radiación alfa, cámaras alfa para mediciones de laboratorio y equipos Ludlum modelo 182, que pueden ser utilizados tanto en el laboratorio como en trabajos de campo, con una autonomía de 8 horas. Para la determinación de la progenie de radón, el laboratorio posee tres bombas de muestreo que trabajan a un caudal ajustable y tienen una autonomía de 8 horas.

Además, el laboratorio cuenta con un sistema de revelado de trazas nucleares en film de policarbonato y un lector de microfichas para el contaje de estas trazas.

Para la determinación de la concentración de radón en aire, como método de screening, el laboratorio dispone de detectores electret.

Cámara de referencia para la calibración de detectores de radón en aire



El laboratorio cuenta, también, con un detector que es utilizado para la determinación de la tasa de emanación de radón, medida a través de los detectores basados en la adsorción del gas en carbón activado.

Para la determinación de radón en aire, el laboratorio cuenta con distintos métodos. El método de trazas nucleares es un sistema que integra la concentración de radón durante tres meses. Este es un método pasivo que utiliza un policarbonato como detector. La concentración de radón en aire se calcula luego de un revelado adecuado del detector (electroetching químico) y la aplicación del factor de calibración correspondiente. El límite de detección alcanzado con este sistema es de 16 Bq/m^3 .

Otro método pasivo para la determinación de radón en aire, y que fue desarrollado en el laboratorio, se basa en la adsorción en carbón activado y la posterior medición por centelleo líquido. Se probó la respuesta de este sistema de detección frente a los efectos de la humedad ambiente y a distintos tiempos de exposición. El sistema fue optimizando con el uso de agentes desecantes y barreras difusoras y se logró que el detector fuera independiente de la humedad ambiente, factor altamente limitante en otros sistemas de medición. El método fue comparado, en paralelo, frente a un método aprobado por la EPA, para concentraciones de radón que oscilaron entre 6 Bq/m^3 (valores ambientales) y $15\,000 \text{ Bq/m}^3$ (cámara de experimentación). El método desarrollado fue adoptado como método rutinario para la medición de radón en aire. El límite de detección es de 2 Bq/m^3 .

El método que utiliza detectores electrets es, también, un método pasivo para integrar la concentración de radón en distintos períodos de tiempo. El principio del detector se basa en la descarga elec-

trostática del condensador y en relacionar esta disminución de voltaje con la concentración de radón en aire. El límite de detección es de 6 Bq/m^3 .

Para la determinación de radón y sus descendientes en aire, el laboratorio cuenta con equipamiento para realizar la determinación de concentración de energía alfa potencial en aire (Working level) mediante los métodos de Rolle y Kusnetz. También, es posible la determinación individual de cada una de los descendientes del radón, mediante el método de Thomas. Los tres métodos son activos y se basan en la toma de una muestra de aire a través de un filtro y su posterior contaje en un detector de radiación alfa. También, se cuenta con un método pasivo para la determinación de la relación entre la concentración de radón y sus descendientes (factor de equilibrio), basado en el método de trazas nucleares.

Determinación de radón en muestras ambientales



En el laboratorio se realiza la determinación de los descendientes del radón de período corto no adheridos a aerosoles. El principio del método se basa en la atracción electrostática por filtros de malla de alambre de los átomos libres.

Todos estos métodos fueron optimizados y calibrados en la cámara de referencia y en el recinto experimental.

Para llevar a cabo la determinación de la tasa de emanación de radón, el laboratorio cuenta con el método de Countess que se basa en la adsorción de radón en una determinada superficie en carbón activado durante un cierto tiempo de exposición y el posterior contaje de bismuto 214 , un descendiente del gas radón, en un detector gamma de INa (TI) .

Determinación de radón en agua

La determinación de la concentración de radón en agua resulta de importancia para conocer, junto con las determinaciones de radio 226 y uranio natural, los niveles de concentración de radionucleidos naturales en aguas de consumo.

El laboratorio cuenta con diferentes métodos para realizar dicha medición. La medición de la concentración de radón en agua mediante detectores electrets, posee un límite de detección de, aproximadamente, 100 Bq/m^3 . Mientras que el límite de detección, para la determinación de radón en agua mediante la técnica que utiliza las celdas de Lucas, fue estimado en 140 Bq/m^3 .

También se dispone de un método directo para la determinación de radón en agua mediante una medición por centelleo líquido con discriminación por forma de pulso, con el que se puede alcanzar un límite de detección de 70 Bq/m^3 .

Todas las técnicas fueron optimizadas y estandarizadas para obtener los correspondientes factores de calibración.

Durante 1998, las principales tareas realizadas en los laboratorios de medición de radón fueron:

Como parte del programa de determinación de la concentración de radón en viviendas de la República Argentina, se midió la concentración de radón en 60 viviendas de la ciudad de la Malargüe, 40 de la ciudad de San Rafael y 40 de la ciudad de Mendoza, todas éstas pertenecientes a la provincia de Mendoza. En la provincia de Córdoba, se midió la concentración de radón en 20 viviendas de la ciudad de Córdoba y 60 de la ciudad de Cosquín. Además, se monitorearon 40 viviendas de la ciudad de San Luis. Se determinó, además, la concentración de radón en 60 viviendas de la ciudad de Buenos Aires y del Gran Buenos Aires. Las determinaciones fueron realizadas mediante el método de trazas nucleares, excepto las determinaciones correspondientes a la ciudad de Buenos Aires y del Gran Buenos Aires, y 20 determinaciones de la ciudad de Malargüe, donde la concentración fue medida mediante electrets y detectores de carbón activado.

Como parte de programa de monitoreo radiológico ambiental en los alrededores de los complejos minero fabriles de uranio, se midió la concentración de radón en los alrededores del Complejo Fabril Córdoba y del ex complejo fabril Malargüe (Mendoza).

Se midió la tasa de emanación de radón en el complejo minero fabril San Rafael y en el ex-complejo fabril de Malargüe, ambos en la provincia de Mendoza, y en el ex-complejo minero fabril Los Gigantes, en la provincia de Córdoba.

Como parte del programa de implementación de nuevos métodos de medición de la concentración de radón, se calibró un dispositivo, desarrollado en el laboratorio, basado en la adsorción de radón en carbón activado.

Además, se calibraron las bombas de muestro Sensidyne, utilizadas en la medición de descendientes de radón de período corto y las celdas de Lucas, considerado como método de referencia.

Se desarrolló un método para determinación de descendientes de radón adheridos y no adheridos a aerosoles. Las experiencias se realizaron en la cámara de calibración y en el recinto de experimentación, para distintos niveles de concentración de radón y de concentración de partículas.

Además, se desarrolló un método pasivo para la determinación de la relación entre la concentración de radón y sus descendientes basado en el método de trazas nucleares.

También, se estudió la variación de la concentración de radón y de sus descendientes de período corto con la tasa de ventilación. Esta experiencia fue realizada en el recinto de experimentación donde se trabajó a distintas tasas de ventilación y distintas concentraciones de partículas.

USO DE CÓDIGOS TERMO-HIDRÁULICOS PARA EVALUACIONES DE SEGURIDAD DE CENTRALES NUCLEARES DE POTENCIA Y OTRAS INSTALACIONES RELEVANTES

La ARN utiliza para el estudio de la seguridad nuclear de centrales nucleares la serie de programas de predicción RELAP5/MOD3.2.x, entre otros. Al mismo tiempo, participa de las actividades de evaluación y mantenimiento de dichos códigos, a través de convenios específicos con la Nuclear Regulatory Commission (NRC) de los EE. UU. En dichos convenios, participan unas cincuenta organizaciones de los EE. UU. y unos veinte países, a través de laboratorios nacionales y/u organizaciones directamente relacionadas con tareas en el campo nuclear. Los países reciben los códigos en sus últimas versiones, comparten la experiencia del grupo de trabajo e integran recursos monetarios y sus propios resultados al programa. La ARN ha participado activamente en las reuniones del Programa de mantenimiento y validación de códigos termohidráulicos, mostrando la experiencia ganada en la aplicación de los mismos, en situaciones de interés para las centrales nucleares y estudios relacionados con otros tipos de instalaciones relevantes.

Es importante señalar porqué es necesario contar con programas de cómputo de este tipo. Una lista no excluyente es la siguiente:

- ✓ La ARN licencia la construcción y operación de centrales nucleares, además de otras instalaciones relevantes; inspecciona y regula su operación de acuerdo a sus propias normas.
- ✓ De lo anterior surge que, es importante que cuente con herramientas que permitan la auditoría de los cálculos que las entidades responsables efectúan, como aval de su aseveración de que las centrales nucleares son operables atendiendo las mencionadas normas.
- ✓ El personal técnico de la ARN cuenta con la posibilidad de apoyar su criterio ingenieril, sobre la base de los últimos desarrollos realizados en el ámbito internacional y reflejados en las versiones más actualizadas de los códigos de análisis termohidráulico.
- ✓ Al mismo tiempo, dicho personal técnico contrasta su criterio de evaluación con los técnicos de otras instituciones de todo el mundo y establece las condiciones en las que el uso de los programas es, en lo posible, independiente de elecciones incorrectas de parámetros u opciones de cálculo.

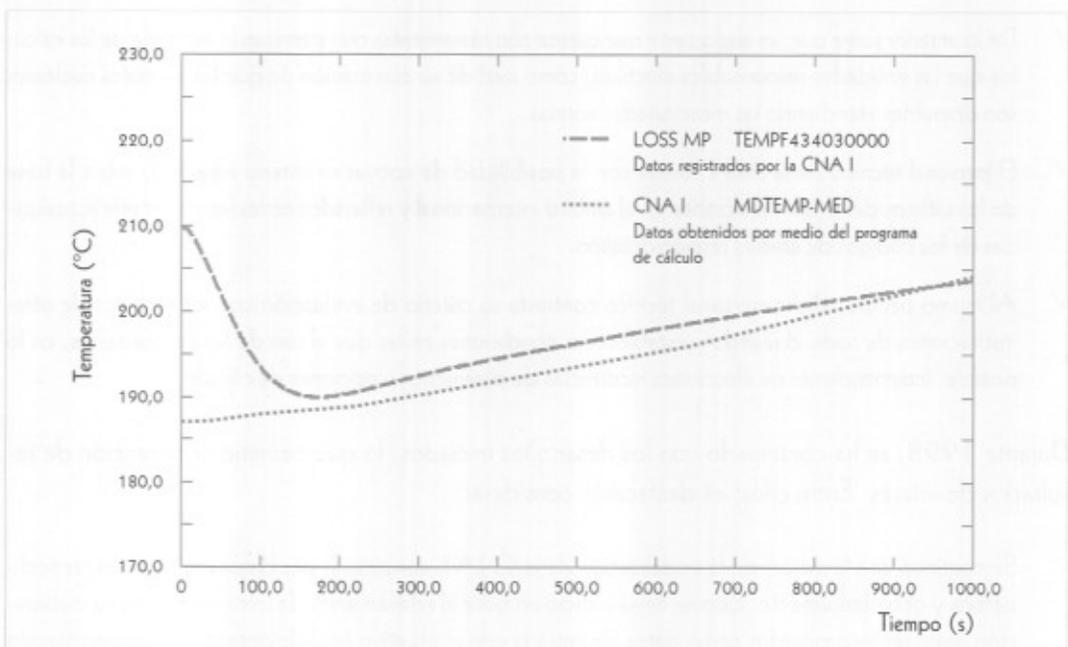
Durante 1998, se ha continuado con los desarrollos iniciados, lo que permitió la obtención de resultados de interés. Entre ellos, es destacable considerar:

- ✓ Se continuó con la mejora de la nodalización de la CNA I, constituida por datos consistentes termodinámica y geoméricamente. Esto se llevó a cabo en base al relevamiento de información y a su elaboración, para ser incorporados como datos de entrada con el objetivo final de obtener una representación

completa de la planta, utilizable en un espectro amplio de transitorios. La información fue obtenida a partir de los datos de ingeniería y de análisis aportados por la entidad responsable.

- ✓ Se completó el análisis de la evolución temporal de la circulación natural en la central nuclear Atucha I (CNA I), luego de un incidente de pérdida de las bombas principales. Este incidente se originó en la falta de potencia externa de alimentación, que produjo un transitorio rápido de parada, desde el flujo nominal de circulación forzada a otro de circulación natural. Los resultados se obtuvieron partiendo de una nodalización adecuada, con el programa RELAP5/MOD3.2.1. El estudio permitió el análisis de las condiciones de refrigeración durante los primeros minutos de la salida de servicio del reactor, siendo satisfactorios los resultados finales obtenidos. En la **Figura 1**, se comparan los resultados obtenidos por medio de cálculo y los registrados por la CNA I.
- ✓ Se analizó un aspecto esencial de la evaluación de la seguridad nuclear, como es la utilización de los programas de cálculo y la introducción de efectos espurios, originados en una representación deficiente de la fenomenología, ya sea por elección incorrecta de opciones y modelos o por errores en la elaboración de dichos programas. Para verificar la correcta representación de la fenomenología, es necesario simular problemas simples con comportamiento físico conocido. Uno de los problemas simples planteados fue la simulación de la propagación de inestabilidades; para estos sistemas se verificó el comportamiento del programa RELAP5/MOD3.2.x en la simulación de flujos inestables en tubos verticales, con efectos preponderantes de la gravedad. Para verificar la correlación de los datos, se compararon los resultados obtenidos en el Laboratorio de Termohidráulica del Instituto Balseiro, obteniéndose resultados similares. El análisis de estos resultados ha mostrado el efecto de la nodalización, la necesidad de respetar criterios estrictos en la elección del intervalo de tiempo de simulación y la influencia de la versión de los programas utilizados.
- ✓ Se efectuaron evaluaciones de seguridad de un reactor tipo piletas de propósitos múltiples, instalación que la empresa INVAP S.E. diseñó y construyó en la República Árabe de Egipto. El estudio se realizó con el fin de completar una evaluación independiente de los resultados del proveedor de la instalación y, al mismo tiempo, capacitar al personal de dicho país.

Figura 1
Variación de la temperatura del moderador a la salida del reactor en función del tiempo, desde la iniciación del incidente



DESARROLLO DE MODELOS COMPUTACIONALES PARA EVALUACIONES DE SEGURIDAD DE CENTRALES NUCLEARES

Un aspecto que es de interés señalar, lo constituyen los resultados obtenidos a partir del desarrollo de métodos y programas para casos particulares de las evaluaciones de la seguridad radiológica y nuclear de centrales nucleares. En efecto, es necesario contar con una metodología de predicción cuyas ventajas y limitaciones sean conocidas, para su empleo en la evaluación de situaciones anormales. En este sentido, se continuó con el desarrollo de modelos de dispersión para geografía con relieve montañoso.

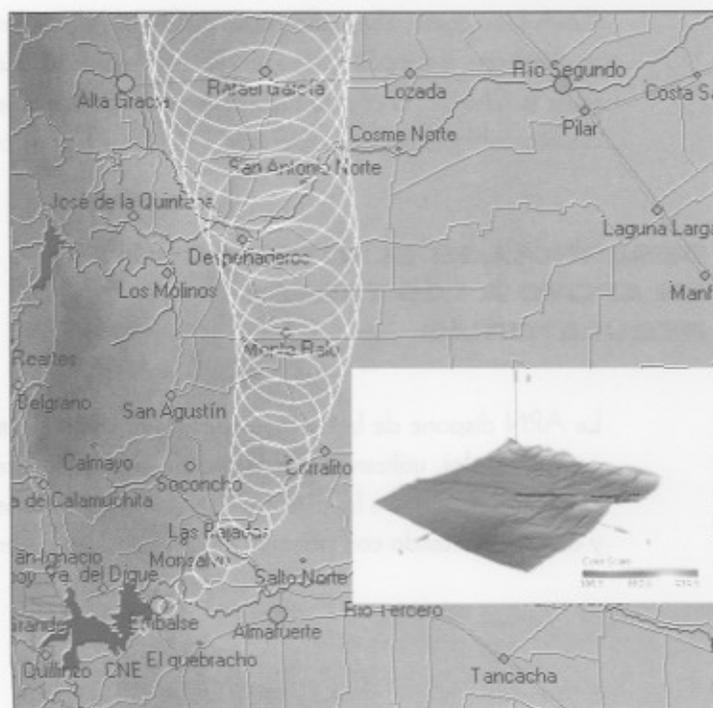
En la década de 1980, se desarrolló el código SEDA para poder disponer de una herramienta de cálculo que pudiera predecir, en forma rápida, las consecuencias de un potencial accidente nuclear que involucrase la liberación de materiales radiactivos al medio ambiente. En esa época, los recursos informáticos disponibles eran limitados, y por esa razón se optó por el desarrollo de un código de cálculo que usara modelos simplificados para evaluar las dosis al público. El objetivo era facilitar el manejo de la emergencia. El código diseñado es interactivo, fácil de usar y con salidas gráficas que permiten evaluar rápidamente la situación (curvas de isodosis e isoconcentración sobre un mapa simplificado de los alrededores de la instalación).

La última versión fue entregada a la CNA I en 1998 y desde entonces, es utilizada por los operadores en los ejercicios de aplicación del plan de emergencia.

El objetivo del nuevo proyecto es desarrollar un código de cálculo para la evaluación de las consecuencias de descargas accidentales a la atmósfera en la central nuclear de Embalse, dado que, el modelo dispersivo utilizado, debido a condiciones geográficas locales, no es aplicable a distancias considerables de la central nuclear.

Figura 2
Representación del transporte y difusión
de un contaminante pasivo, en los alrededores de la CNE

La **Figura 2** muestra un ejemplo del procesamiento de la información topográfica y cartográfica en una zona de 80 km x 80 km, centrada en la CNE. Los círculos corresponden al transporte y difusión de un contaminante pasivo, que fue simulado a partir de emisiones discretas en el tiempo. Además, esta representada una zona de 20 km x 20 km, con la CNE en su centro y una trayectoria de un contaminante pasivo portado por un viento de 15 km/h. Dicha trayectoria se originó a una altura de 40 m. En la etapa final del proyecto, se llevará a cabo el ensamble de los sub-modelos y su validación.



ESTUDIOS SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE MATERIALES DEL NÚCLEO EN CENTRALES NUCLEARES DURANTE ACCIDENTES SEVEROS

La ARN cuenta con códigos de cálculo para evaluar la seguridad nuclear de reactores de potencia. Como parte del programa de análisis del comportamiento de los materiales del núcleo durante accidentes severos y su interacción mutua (formación de eutécticos), se estudió la influencia del agua y del vapor de agua. Se estudió, además, la generación de hidrógeno en un accidente severo, en el cual el núcleo queda descubierto y se introduce agua para enfriarlo.

Haciendo uso de los datos experimentales obtenidos, durante 1997, de la experiencia de Quenching y utilizando el código de cálculo TRANOX, en etapa de desarrollo, se realizaron simulaciones con el objeto de conocer el número de fisuras en la capa de óxido durante los diferentes procesos de "quenching". Se analizaron un total de 18 experiencias, 9 con agua y 9 con vapor de agua. Cada una de estas experiencias se simuló para tratamientos de quenching a 1200 °C, 1400 °C y 1600 °C y cada una de ellas con muestras con 3 diferentes capas de óxido previas: 0 µm, 100 µm y 300 µm.

Se obtuvo el código de cálculo ICARE2, del Institute de Protection et Sûreté Nucleaire de París, que fue utilizado para realizar la nodalización de un canal de la CNA I. Además, se establecieron las condiciones para la transferencia del Código CATHARE que, acoplado al código anterior, permitirá el estudio de accidentes severos en la CNA I.

Se inició el estudio de la formación de fase líquida debido al contacto entre el acero inoxidable (soporte) y el hafnio en las barras de control de la CNA I.

Se obtuvo de la Nuclear Regulatory Commission de EE. UU. el código SCDAP/RELAP, para la interpretación de experiencias que simulen accidentes severos y análisis de accidentes severos en la CNA I, así como, el estudio crítico de los modelos sobre interacción de materiales que dicho código tiene con el propósito de introducir los casos particulares de interacción de materiales que presenta la CNA I. El código fue instalado en la computadora FENIX de la CNEA, para facilitar el estudio colaborativo con especialistas de dicha institución.

DESARROLLOS ELECTRÓNICOS EN APOYO A LAS TAREAS REGULATORIAS

La ARN dispone de laboratorios para el desarrollo e implementación de sistemas electrónicos no convencionales, utilizando tecnologías de avanzada. Tiene como objetivo brindar el apoyo científico-técnico necesario a las distintas actividades regulatorias, sobre los sistemas especiales de medición y control, contando con personal especializado en el tema.

Durante 1998, se realizaron las siguientes actividades:

Sistema de vigilancia y monitoraje remoto

La ARN desarrolló un sistema de vigilancia y monitoraje remoto con el objetivo de reducir el esfuerzo de inspección con fines de salvaguardias y los costos involucrados, reemplazando parte de las tareas de inspección por elementos de vigilancia o control electrónico.

El sistema desarrollado permitió el sensado de variables analógicas y digitales, su almacenamiento y posterior transmisión para su evaluación. Durante 1998, los sensores remotos del sistema fueron modificados para permitir el almacenamiento de las variables de sensado por un tiempo mínimo de 7 días, incluyéndose la fecha y la hora de la medición. Se posibilitó el uso de los sensores remotos en una configuración del tipo estrella cableada, para los casos donde un enlace del tipo de radiofrecuencia no es posible, ya sea debido a los requisitos de la instalación a monitorear o por las condiciones físicas del sitio.

Como resultado de la experiencia adquirida, se pudo encarar la implementación de los sistemas en diversas instalaciones.

Sistema de monitoraje remoto para el Depósito central de material fisionable (Centro Atómico Constituyentes - Buenos Aires)

Se construyó un sistema de monitoraje remoto para reemplazar el prototipo instalado en 1997 en el Depósito central de material fisionable ubicado en el CAC. Este sistema, que utiliza enlace por radiofrecuencia, posee la capacidad de encriptar y autenticar la información enviada desde los sensores remotos al receptor de radiofrecuencia. El receptor empleado es del tipo inteligente, pudiéndose programar variables de transmisión a los efectos de adecuar la transmisión y recepción a las condiciones físicas del sitio de emplazamiento. La programación de los parámetros de medición y de transmisión se efectúa mediante el uso de un computador de tipo industrial, que a su vez tiene como tareas: la comprobación de que la información emergente del receptor y enviada por los sensores corresponde realmente a un sensor instalado, la creación y manejo de las bases de datos de los sensores, la consulta y/o comunicación remota y la adquisición de imágenes relacionadas con eventos en los sensores.

Sistema de monitoraje remoto para la planta de enriquecimiento de uranio por difusión gaseosa (Pilcaniyeu - Río Negro)

Se desarrolló e instaló un sistema de monitoraje remoto del tipo estrella cableada en la planta de enriquecimiento de uranio en Pilcaniyeu. El sistema consiste en un conjunto de 8 sensores remotos ubicados estratégicamente, un computador de tipo industrial, un sistema de alimentación ininterrumpible, un monitor de video, un teclado y un módem para enlace telefónico.

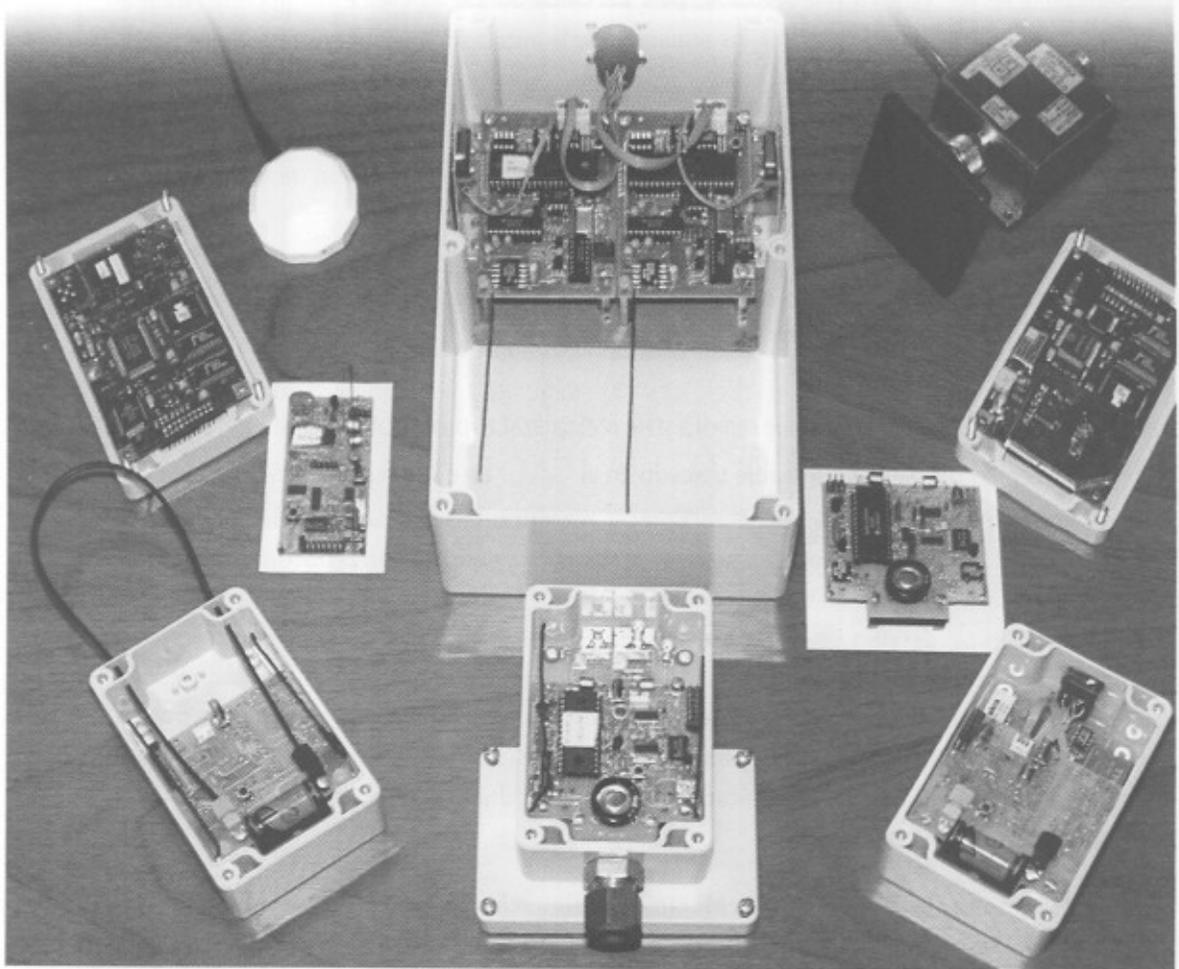
Los sensores remotos instalados cuentan con detectores de movimiento (vibración), sellos del tipo activo (fibra óptica), control de apertura-cierre, medición de temperatura y control de conexión-desconexión. Además, los sensores poseen un sistema de ahorro de batería para continuar funcionando por un mínimo de 2 años, sin reemplazo de baterías, y aún cuando se encuentren eventualmente desconectados de la red.

Sistema de monitoreaje remoto en la CNE (Córdoba)

Durante el año 1998, se instaló en la CNE un sistema de monitoreaje remoto que permite controlar el movimiento de los elementos combustibles desde su almacenamiento inicial en pileta hasta su ulterior almacenamiento en silos.

El sistema está constituido por una gran variedad de sensores, que están interconectados mediante una red LON. Los datos emergentes de los sensores pueden ser consultados desde una PC conectada a la red o mediante un acceso remoto. Este acceso remoto es utilizado para la consulta desde las sedes del ABACC y del OIEA.

Sensores desarrollados para el Sistema de Monitoreaje Remoto



Los diferentes sensores remotos implementados en el sistema son:

- ✓ Sensor de seguimiento ubicado en la herramienta de movimiento de elementos combustibles en la pileta. El sensor, que detecta si la herramienta se ha movido de una posición de reposo, cuenta con una cámara de ionización, desarrollada específicamente para este fin, y ubicada en la parte inferior de la herramienta. La cámara de ionización opera a muy bajo voltaje, fue diseñada para soportar 100 000 Gy y se encuentra sumergida en la pileta a 6,5 metros de la superficie. Está ubicada en la parte superior de la herramienta de movimiento de elementos combustibles y dispone de la electrónica necesaria para enviar los datos al receptor ubicado en el recinto de la pileta.
- ✓ Sensor de seguimiento ubicado en la tapa del contenedor de elementos combustibles. Este contenedor se utiliza para el traspaso de los elementos combustibles desde la pileta hasta la celda de soldadura. A

partir del momento en que se retira el contenedor de la piletta, el sistema de seguimiento reporta la tasa de exposición hasta su llegada a la celda de soldadura.

- ✓ Sensor ubicado en la celda de soldadura. Permite conocer la manipulación del contenedor de elementos combustibles.
- ✓ Sensor de seguimiento ubicado sobre el contenedor de elementos combustibles utilizado para el transporte desde la celda de soldadura al silo. La función de este sensor es informar sobre cualquier actividad realizada que involucre un cambio en la tasa de dosis.
- ✓ Sensores de actividad en los silos que cuentan con detectores gamma (cámara de ionización) y fueron colocados en los tubos de verificación de los silos.
- ✓ Además se instaló una cámara de video digital sumergida en piletta. Esta cámara, conectada al servidor de datos mediante una interfase (RS-485), permite comprobar el recorrido y los movimientos de la herramienta y los elementos combustibles en la piletta.

Sistema de enlace satelital entre ARN , CNA I y CNE

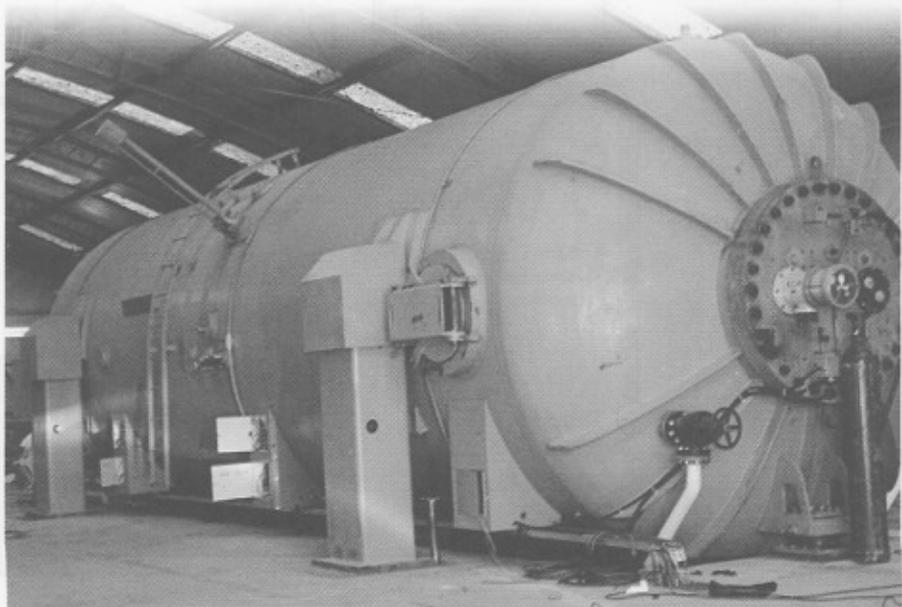
Se comenzó a instalar un enlace satelital entre la ARN y la CNE, destinado a interconectar los servidores correspondientes al sistema de monitoreo remoto instalado en la CNE. El servidor instalado en la ARN poseerá una imagen de la base de datos existente en la CNE y posibilitará su consulta desde un computador de la red y también, el acceso remoto desde la ABACC y el OIEA, una vez ingresados los códigos de acceso.

También, se comenzó a instalar un enlace entre los laboratorios de la ARN y la CNA I que permitirá disponer de valores y estados de variables del reactor, desde un computador conectado en la red de la ARN. Para este objetivo, se utilizó un programa desarrollado en Visual Data y realizado por la CNEA para la CNA I. La posibilidad de contar con esta información en tiempo real, hace del sistema una herramienta de suma importancia para la seguridad nuclear.

CENTRO DE ESPECTROMETRÍA DE MASAS CON ACELERADOR

PROYECTO CEMA

Vista del tanque del acelerador del centro de espectrometría de masas



Con el objeto de desarrollar técnicas de identificación y análisis de radionucleidos de aplicación en el marco de las salvaguardias internacionales, se inició a fines de 1997 el proyecto de instalación de

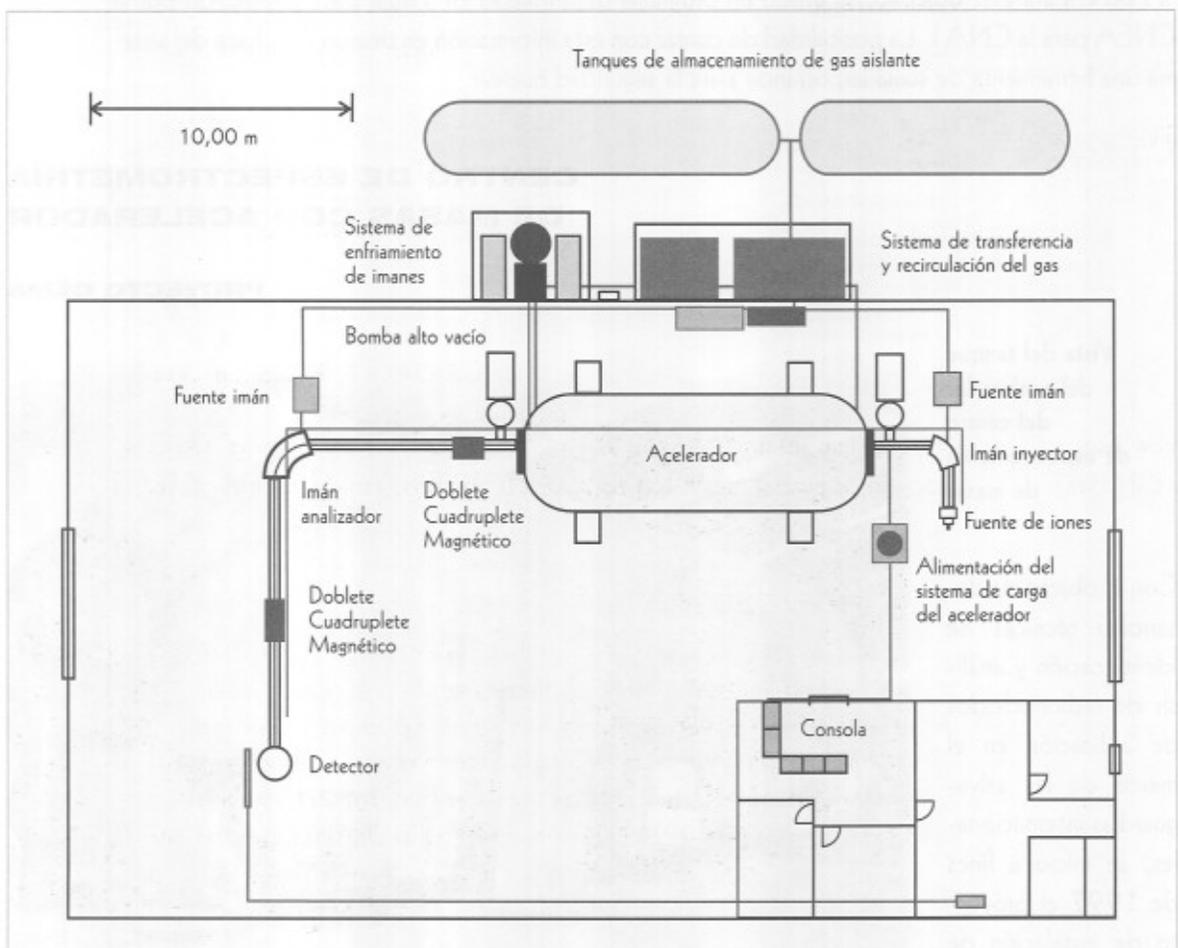
un acelerador de iones, instrumento base del Centro de Espectrometría de Masas con Acelerador, que permitirá disponer de un centro espectrométrico ultrasensible.

El acelerador electrostático, base del proyecto CEMA, es un modelo FN construido por la High Voltage Electrostatic Corporation y donado a la ARN por la Universidad de McMaster, Ontario, Canadá. Su instalación se está llevando a cabo en una construcción ya existente, en el predio del Centro Atómico Ezeiza de la CNEA.

En enero de 1998, y de acuerdo a lo planificado, se finalizó la preparación de la infraestructura básica requerida para instalar el tanque del acelerador y los tanques auxiliares para el gas aislante.

Durante el primer semestre de 1998, se recibieron de Canadá las principales componentes, tales como: los soportes externos, los sistemas de alineación, las columnas internas que soportan los tubos de aceleración y su terminal de alta tensión, y el tanque del acelerador de 45 toneladas de peso. Se procedió a su instalación, construyéndose en paralelo un recinto anexo para alojar el sistema de transferencia de gas y el sistema de enfriamiento de agua y al tendido de una red externa que suministrará energía eléctrica a la instalación. Luego del emplazamiento del tanque del acelerador y de los dos tanques auxiliares en sus posiciones definitivas, se realizaron los ensayos y pruebas de presión para su habilitación.

Figura 3
Centro de Espectrometría de Masas con Aceleradores (en construcción)



Durante el segundo semestre de 1998, se instalaron las columnas internas del acelerador, los tubos de aceleración, el terminal, la cadena de resistencias y el sistema de carga. Además, se concluyó la instalación del cableado de alimentación y control del acelerador y su correspondiente consola de mando, iniciándose los primeros ensayos de carga con terminal a tierra. Simultáneamente, se completó la reingeniería del sistema de transferencia y recirculación del gas aislante del acelerador. Esto permitirá realizar las primeras pruebas de alta tensión a comienzos del segundo bimestre de 1999.

Con la participación de la Escuela Técnica N° 1 "Otto Krause", se construyó la fuente de iones de la instalación que fue puesta en servicio en el banco de prueba de la Universidad Técnica de Múnich, Alemania.

En el marco del convenio de colaboración con la citada escuela, también se instaló el tablero eléctrico principal de la facilidad, los circuitos de alimentación eléctrica para los sistemas de transferencia y recirculación del gas aislante del acelerador y gran parte de la iluminación requerida en la instalación.

También, se trabajó en el diseño de la configuración global del acelerador que será utilizado fundamentalmente para el análisis de compuestos moleculares de actínidos. Se definió la línea de inyección, básicamente, en términos de un imán deflector y un analizador electrostático esférico, ambos de 90 grados de giro y 0,5 metros de radio. Su geometría en forma de "C" favorece la estabilidad energética de los iones inyectados en el acelerador. El imán tendrá sus polos partidos con correcciones de segundo orden, a efectos de lograr una resolución mayor que 1:400. La construcción de ambos componentes está en vías de ejecución.

La línea de alta energía ha sido rediseñada a los efectos de mejorar su performance y hacer posible el uso del imán analizador de la instalación original.