

## CAPÍTULO 7

# LABORATORIOS DE LA ARN

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 radionucleidos en el ambiente para ser luego utilizados en modelos de evaluación de dosis en el público.
- ✓ Realizar la vigilancia radiológica ambiental en los alrededores de instalaciones nucleares y radiactivas del país.
- ✓ 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.

### Laboratorios de la ARN en el Centro Atómico Ezeiza



Para el desarrollo de estas tareas la ARN cuenta con:

- ✓ Laboratorio de dosimetría física compuesto por:
  - Laboratorio de dosimetría termoluminiscente
  - Laboratorio de desarrollo de técnicas dosimétricas
  - 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 con bajo fondo de radiación
- ✓ 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 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

A continuación se describen las principales tareas rutinarias y de desarrollo llevadas a cabo en los laboratorios de la ARN.

## **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 sistemas de medición que deben mantener operativos con la precisión y la exactitud adecuadas. El desa-

rollo 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 en dosimetría física son:

- ✓ Laboratorio de calibración de detectores sensibles a radiación gamma, compuesto por:
  - Recinto para 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 de 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 de: cloro 36, carbono 14, estroncio 90, itrio 90, americio 241 y 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) que 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 por el grupo de dosimetría física están relacionados con los siguientes temas:

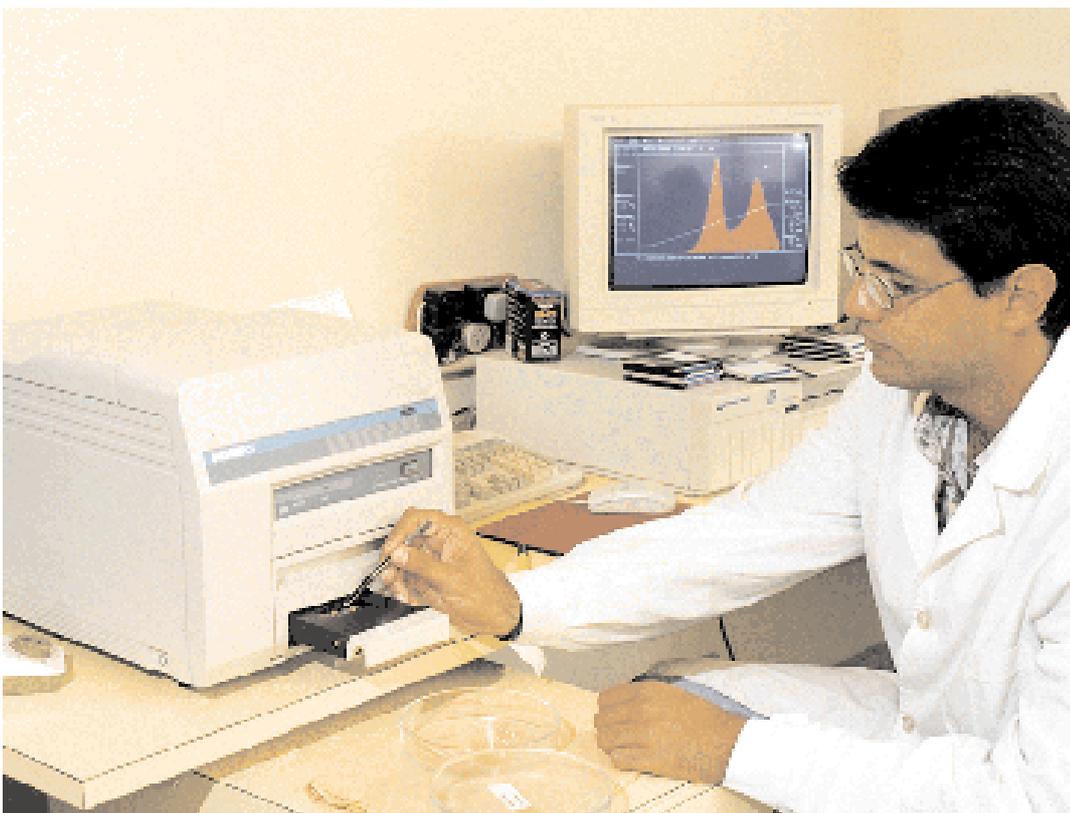
- ✓ Dosimetría personal
- ✓ Dosimetría computacional
- ✓ Calibración de dispositivos de medición de neutrones
- ✓ Verificación de equipos para detección de radiación

- ✓ Dosimetría de accidentes
- ✓ Implementación de técnicas de medición para salvaguardias

**Sistema multiesfera para detección de neutrones**



**Medición de detectores termoluminiscentes (TLD)**



## 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, complementan 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 contenidos 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.



**Análisis  
de metafases por  
microscopía**

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

- ✓ Sala de cultivo equipada con un flujo laminar, donde se realiza la preparación de los cultivos celulares en condiciones estériles. Esta sala 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 aquellos corrientemente en uso y efectuar desarrollos tendientes a ampliar la capacidad de respuesta del laboratorio, se trabaja en:

- ✓ Dosimetría citogenética convencional
- ✓ Dosimetría citogenética para evaluaciones retrospectivas
- ✓ Evaluación de sobreexposiciones inhomogéneas
- ✓ Estudios sobre Eficiencia Biológica Relativa
- ✓ Análisis automatizado de aberraciones cromosómicas inestables (ACI)

## **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 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, y también 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 la ICRP. Como herramientas de cálculo, se utilizan códigos que permiten estimar incorporación y dosis a partir de datos de mediciones. 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.

## **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 reproducen 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 ensayan fármacos radioprotectores que operan a distintos niveles, con el fin de revertir los efectos observados.



#### Cultivo de células nerviosas

Se trabaja con un modelo animal de irradiación intrauterina realizándose:

- ✓ Cultivo de células del sistema nervioso central
- ✓ Estudios de la actividad de la enzima óxido nítrico sintetasa
- ✓ Estudio sobre apoptosis radioinducida
- ✓ Estudio de la expresión génica asociada a apoptosis

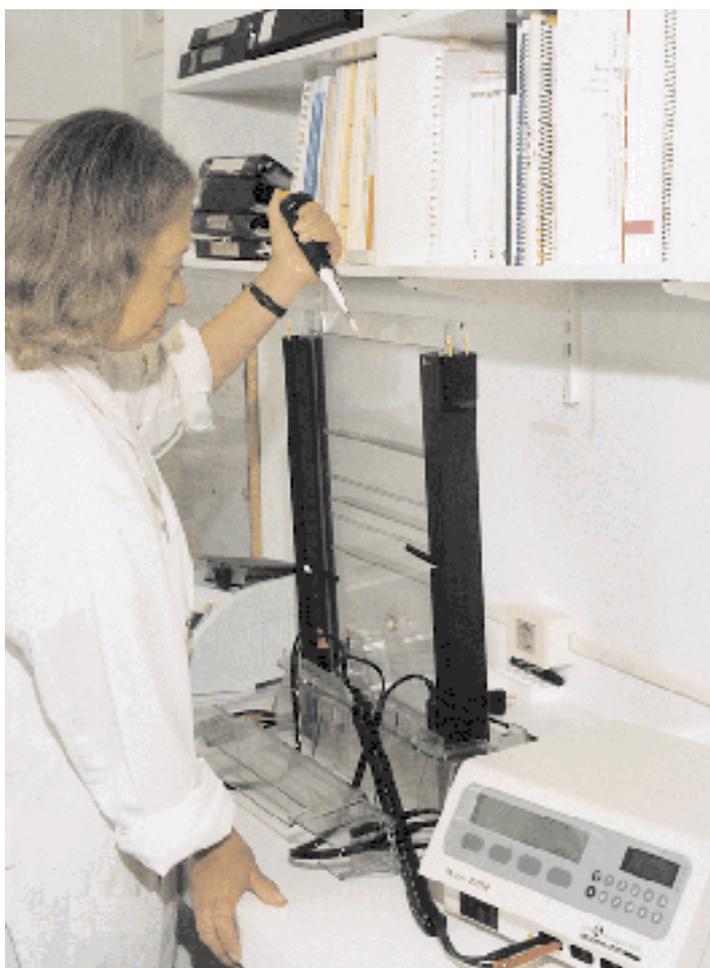
También se estudia la expresión de genes involucrados en la apoptosis, a través de una técnica de amplificación del ADN (PCR reversa). El objetivo es verificar si un grupo de genes asociados a la muerte cerebral programada se expresa a través de la producción del ARN mensajero.

## **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 llevan a cabo:

- ✓ Estudio de los efectos radioinducidos en subpoblaciones linfocitarias.
- ✓ Evaluación de las modificaciones radioinducidas en mecanismos enzimáticos de reparación del ADN.
- ✓ Evaluación de la frecuencia de mutaciones genéticas radioinducidas como indicador de daño radioinducido.
- ✓ Implementación de dosimetría por resonancia paramagnética electrónica.



**Determinación de actividad de telomerasa por técnica de PCR**

## **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 responde a pedidos de asesoramiento médico en el ámbito de las exposiciones ocupacionales y a consultas relacionadas con evaluaciones individuales en trabajadores, con antecedentes 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 responde a consultas sobre exposiciones médicas, realizando la evaluación clínica de pacientes que presentan 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 realizan estimaciones de las dosis en el feto y de los riesgos asociados, de acuerdo a la edad gestacional.

En el ámbito de la interrelación con centros internacionales de radiopatología, se mantienen 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, la ARN participa en el programa de asistencia médica para enfrentar accidentes radiológicos en el continente americano. El programa, tendiente a conformar una red latinoamericana de radiopatología, cuenta con la adhesión de once países de la región, siendo su objetivo es desarrollar un sistema 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 mantienen 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. La ARN fue designada a partir de 1998 como centro de referencia del Radiation Emergency Medical Preparedness Assistance Network (REMPAN), red internacional de la cual forman parte 10 países.

## **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.

## Laboratorio de procesamiento de muestras ambientales



Con el fin de validar técnicas analíticas utilizadas en las determinaciones se procesan muestras de aguas, sedimentos, vegetales y filtros correspondientes a las intercalibraciones semestrales organizadas por el EML (EE. UU.).

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.

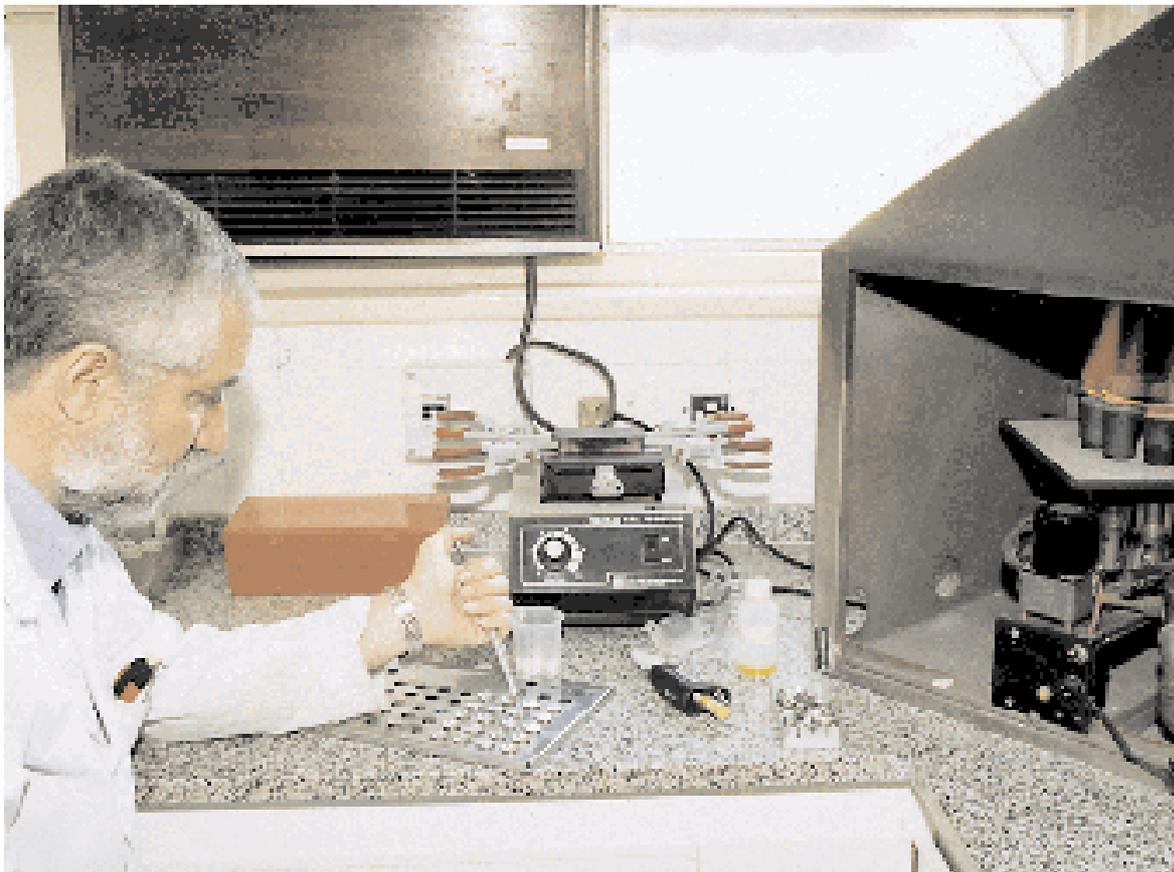
- ✓ Laboratorio destinado al análisis de muestras con actividades elevadas, utilizado también para desarrollos radioquímicos. Este laboratorio cuenta con campanas de extracción y muflas para mineralización por vía seca.
- ✓ Laboratorio para el análisis de muestras con actividades intermedias y para el 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.

Las tareas y trabajos de desarrollos llevados a cabo en dichos laboratorios son:

- ✓ Determinación de americio 241 y curio 244 en presencia de otros actínidos
- ✓ Determinación de uranio y plutonio en muestras ambientales
- ✓ Determinación de radio 226 en aguas y sedimentos
- ✓ Determinación de fósforo 32
- ✓ Determinación de tritio y hierro 55
- ✓ Optimización de la técnica para la determinación de estroncio 90 en muestras ambientales y alimentos
- ✓ Preparación de fuentes patrones para mediciones por espectrometría alfa
- ✓ Determinación de carbono 14 en residuos radiactivos
- ✓ Separación y determinación de emisores beta en residuos radiactivos

#### Determinación de uranio natural en muestras ambientales



## Procesamiento de muestras para la determinación de uranio

**TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE ENSAYOS NUCLEARES**

El establecimiento de un Sistema Internacional de Vigilancia 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 emplea cuatro tecnologías de detección: sísmica, hidroacústica, de radionucleidos e infra-sónica. Estas técnicas combinadas con inspecciones en el lugar y mediciones asociadas permiten cubrir todos los escenarios posibles (explosiones subterráneas, en la atmósfera, subacuáticas, en la superficie de la tierra o del agua, o cerca de ellas).

**Sistema muestreador de aire**



El Sistema Internacional de Vigilancia 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 sismológica:** 119 estaciones. En la Argentina, se encuentran ubicadas dos de estas estaciones en Paso Flores (provincia de Neuquén) y en Usuhaia. 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 sismológicas.



**Estación monitorea de radionucleidos  
(Sede central de la ARN)**

La instalación y operación de las estaciones de detección de radionucleidos y de infrasonido 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.

## 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  $\text{INa(Tl)}$ , 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  $\text{INa(Tl)}$  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  $\text{INa(Tl)}$  blindado y un colimador.
- ✓ Un sistema para la medición de yodo 131 en tiroides, que cuenta con un detector de  $\text{INa(Tl)}$ .

### 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,

Contador de todo el cuerpo



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 Sistema Internacional de Vigilancia del Tratado de Prohibición de Ensayos Nucleares.

- ✓ Un laboratorio con condiciones ambientales controladas, que cuenta con dos sistemas de bajo fondo y un detector de pozo de GeHp, para mediciones que requirieren 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.

#### Unidad transportable para la medición directa de la contaminación interna

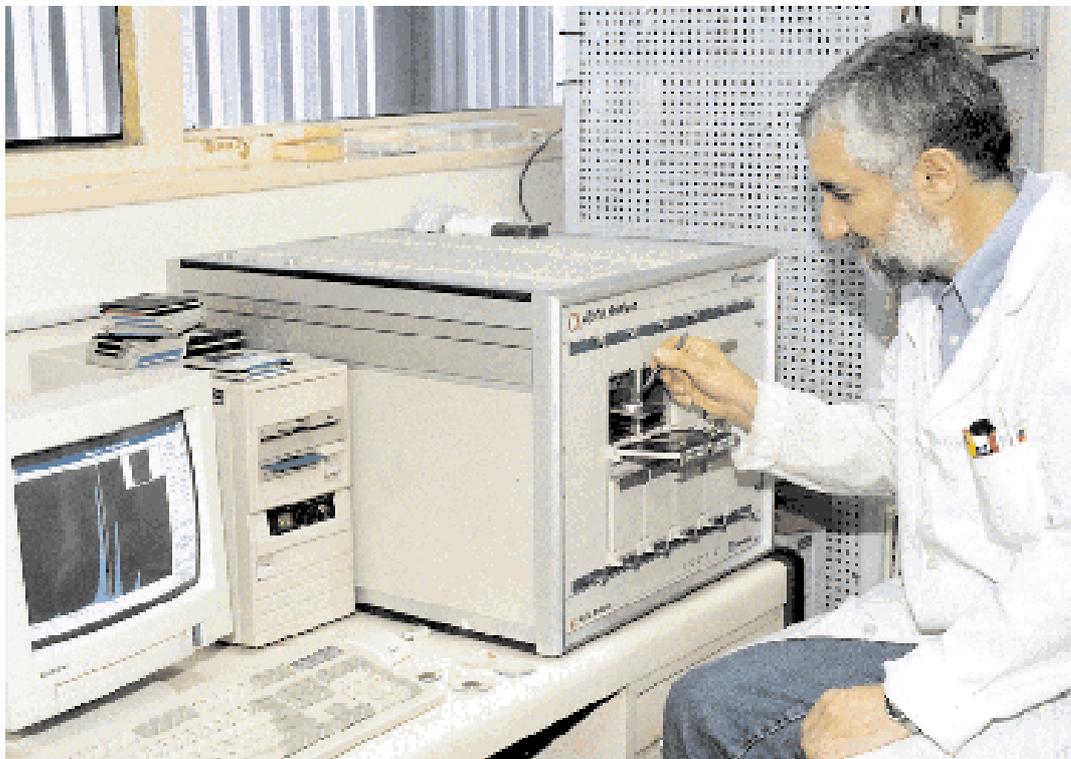


#### Laboratorio de medición de muestras ambientales por espectrometría gamma



En este laboratorio se realizan mediciones en el marco de inspecciones, auditorías y estudios ambientales realizados por la ARN.

**Sistema de medición de muestras ambientales por espectrometría alfa**



**Sistema de medición de muestras ambientales por centello líquido**



### **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.
  - Un conjunto de 20 cámaras para mediciones de actividad alfa total por centelleo sólido.
- ✓ 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.
  - Un sistema de 16 cámaras de vacío, para realizar espectrometría alfa de muy bajo fondo.

En estos laboratorios se realizan las mediciones de todas las muestras enviadas por los diferentes proyectos y actividades de la ARN.

### **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. 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.

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 hallan operativas 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 trabaja con un sistema de autorradiografía electrónica.



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

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 en reactores nucleares. Durante la operación normal de una central 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/ g) y además, la baja energía de emisión de fotones del yodo ( $E = 39,58 \text{ keV}$ ), se utilizan técnicas de activación neutrónica.

## 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 dicha dosis, se llevan a cabo las mediciones rutinarias de la concentración de radón en viviendas y en los complejos minero fabriles de uranio.

Para la determinación de radón de aire, el laboratorio de medición de radon de la ARN cuenta con un sistema de calibración, contadores de radiación alfa, cámaras alfa y diferentes técnicas pasivas de medición implementadas.

Para la calibración, el laboratorio cuenta con una cámara de referencia de 1 m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup> hasta 3500 Bq/m<sup>3</sup>) y de sus descendientes de período corto y de aerosoles, para la realización de pruebas en diferentes condiciones ambientales. Se dispone, además, de 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.

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



Entre las técnicas pasivas para la determinación de radón en aire se dispone del método de trazas nucleares, sistema que integra la concentración de radón durante tres meses. Este método utiliza un policarbonato como detector. El límite de detección alcanzado con este sistema es de 16 Bq/m<sup>3</sup>.

Otro método pasivo desarrollado en el laboratorio, se basa en la adsorción en carbón activado y la posterior medición por centelleo líquido. Su límite de detección es de 2 Bq/m<sup>3</sup> y fue adoptado como método rutinario para la medición de radón en aire.

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  $6 \text{ Bq/m}^3$ .

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 conteaje en un detector de radiación alfa.

#### Determinación de radón en muestras ambientales



#### 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,  $100 \text{ Bq/m}^3$ . 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  $140 \text{ Bq/m}^3$ .

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  $70 \text{ Bq/m}^3$ .

Las principales tareas que se realizan en los laboratorios de medición de radón son:

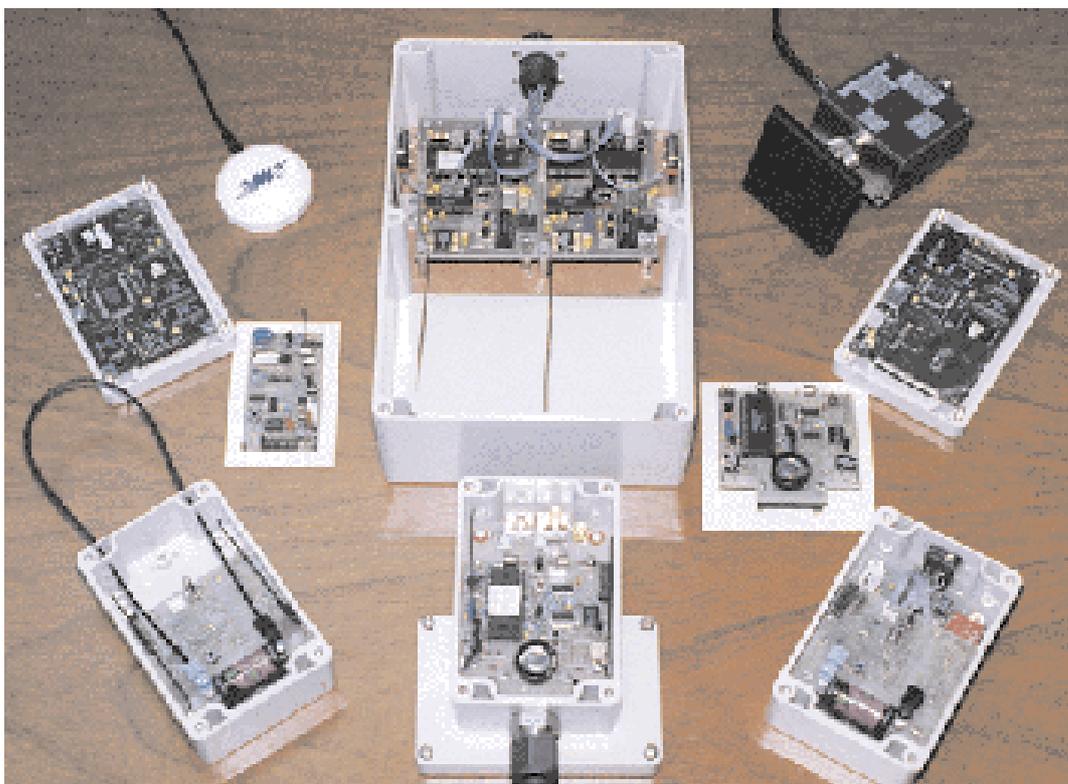
Como parte del programa de determinación de la concentración de radón en viviendas de la República Argentina, se mide dicha concentración en viviendas de la ciudad de Buenos Aires, del Gran Buenos Aires y del interior del país. Las determinaciones se realizan preferentemente mediante el método de trazas nucleares y, en algunas ciudades, mediante electrets y detectores de carbón activado.

Como parte de programa de monitoreo radiológico ambiental se mide la concentración y la tasa de emanación de radón en los alrededores de los complejos mineros fabriles de uranio.

### **SISTEMA DE VIGILANCIA Y MONITOREO REMOTO**

La ARN desarrolla sistemas de vigilancia y monitoreo 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 permite el sensado de variables analógicas y digitales, su almacenamiento y posterior transmisión para su evaluación.

#### **Sensores desarrollados para el Sistema de monitoreo remoto**



El sistema ha sido implementado en las siguientes instalaciones:

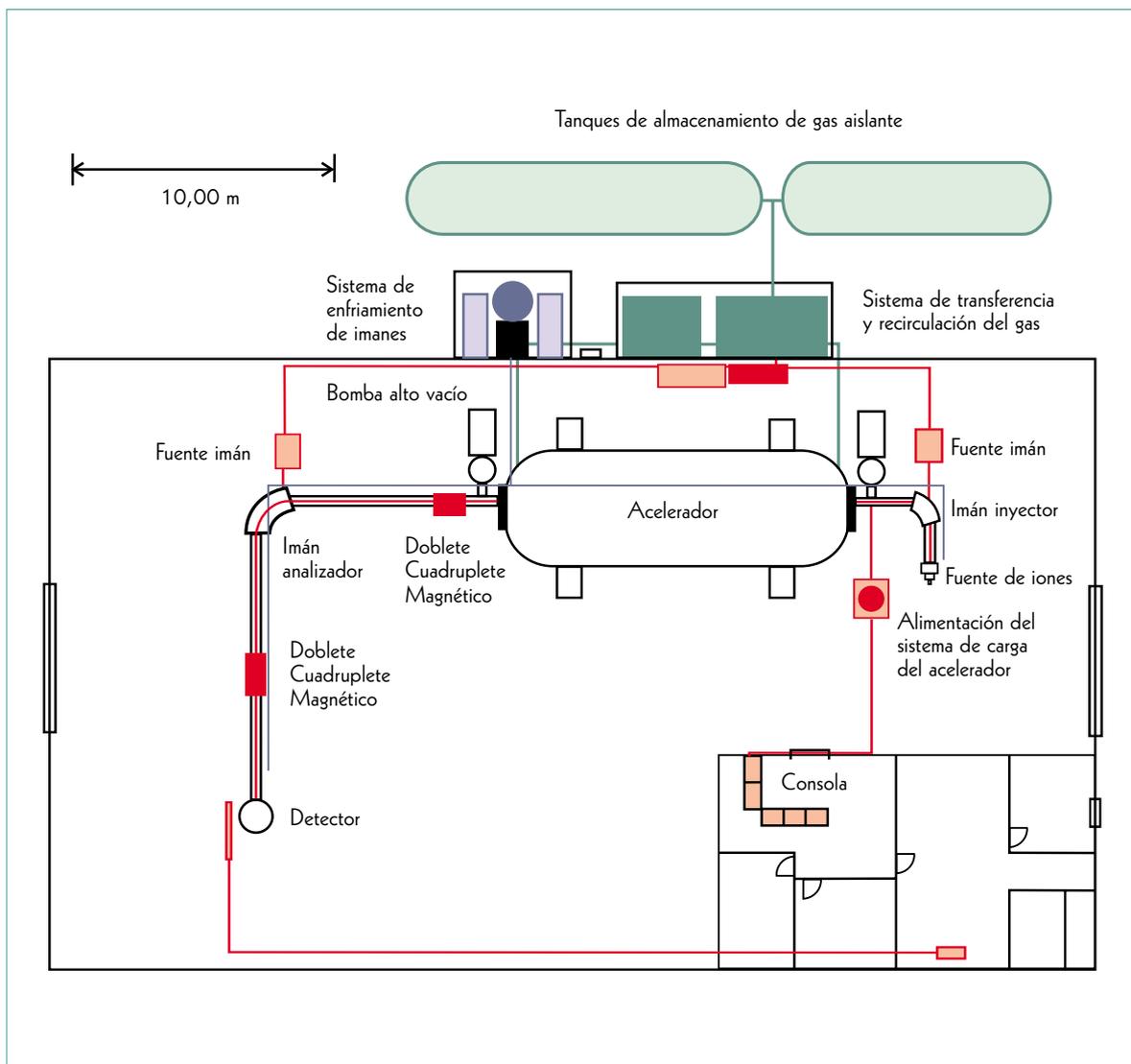
- ✓ Sistema de monitoreo remoto para el Depósito central de material fisionable (Centro Atómico Constituyentes - Buenos Aires).

- ✓ Sistema de monitoreo remoto para la planta de enriquecimiento de uranio por difusión gaseosa (Pilcaniyeu - Río Negro).
- ✓ Sistema de monitoreo remoto en la Central Nuclear Embalse  
El sistema instalado permite controlar el movimiento de los elementos combustibles desde su almacenamiento inicial en pileta hasta su ulterior almacenamiento en silos.
- ✓ Sistema de enlace satelital entre la ARN y las Centrales Nucleares Atucha I y Embalse.

## CENTRO DE ESPECTROMETRÍA DE MASAS CON ACELERADOR

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.

Figura 1  
Esquema del Centro de Espectrometría de Masas con Aceleradores

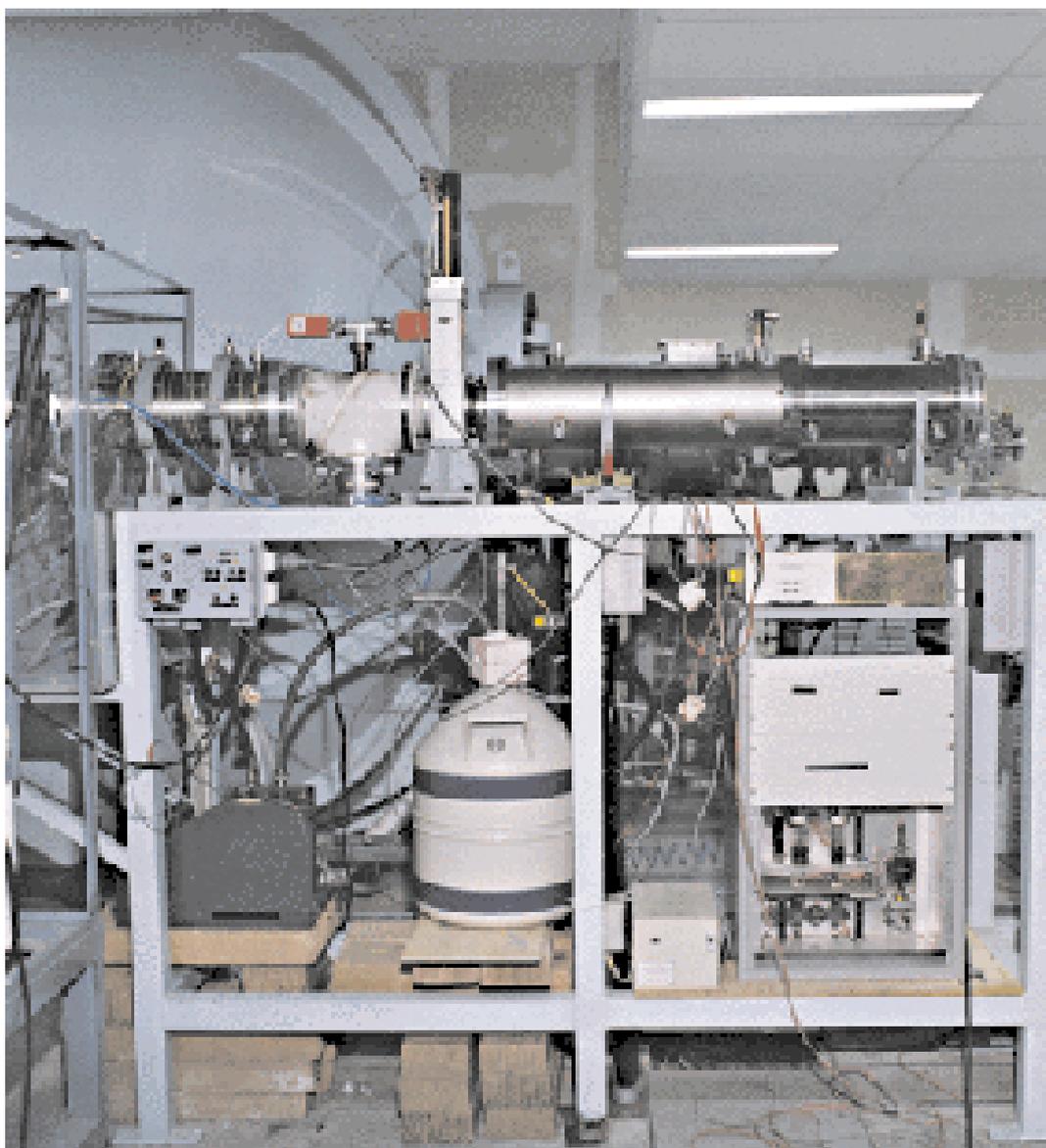


El acelerador electrostático es un modelo FN construido por la High Voltage Electrostatic Corporation y donado a la ARN por la Universidad de McMaster, Ontario, Canadá. Su instalación se está llevando a cabo en una construcción ya existente, en el predio del Centro Atómico Ezeiza de la CNEA.

Se construyó un cerramiento interno de alta capacidad aislante, a efectos de acondicionar la temperatura ambiente del recinto en el cual funcionará el acelerador. Se instaló y se puso en marcha también el sistema de distribución de agua de refrigeración para las diversas componentes de la instalación, así como los circuitos de aire comprimido que permiten el control neumático de válvulas e instrumentos para el diagnóstico del haz de iones.

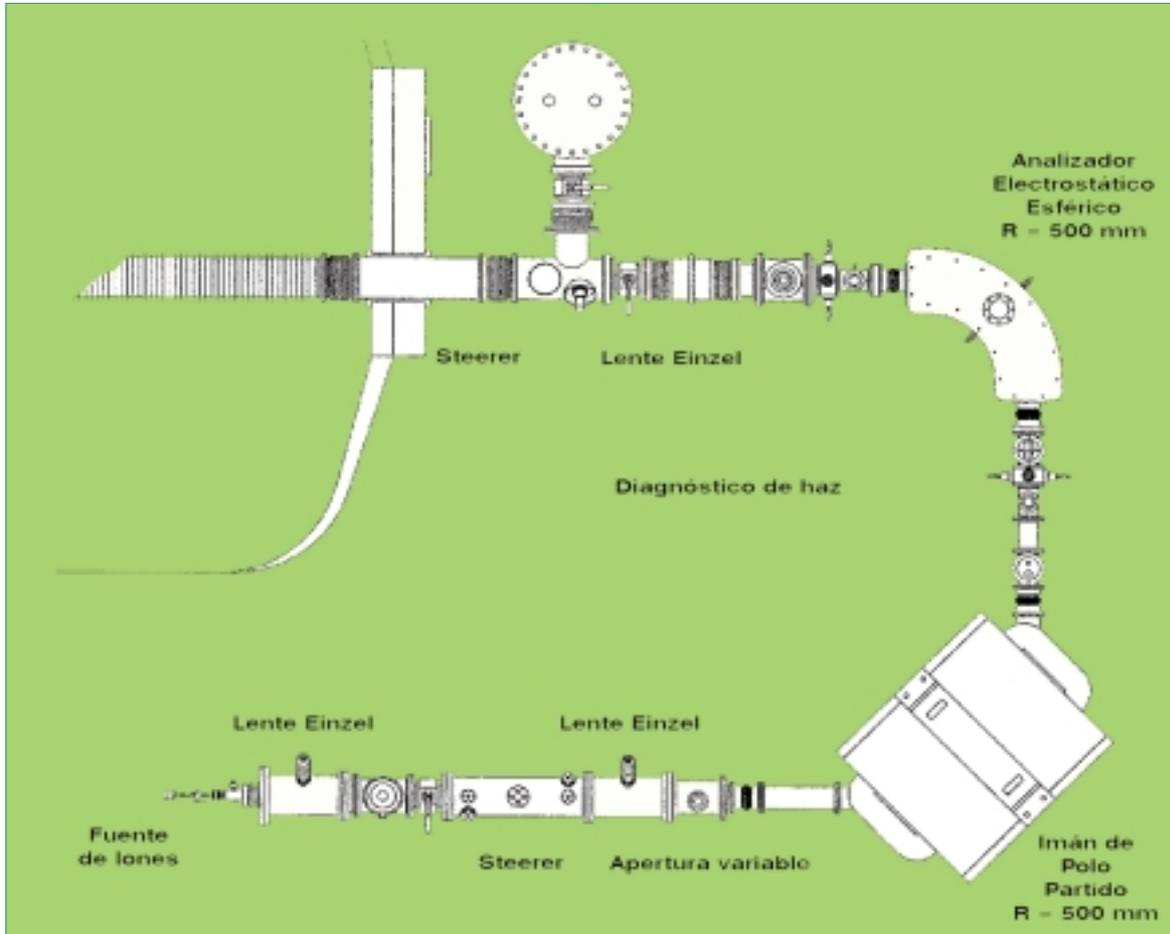
Se diseñó, construyó e instaló un sistema telescópico compuesto por dos lentes electrostáticas Einzel y un Steerer Doble. Este sistema permite optimizar el enfoque y la resolución del imán inyector.

**Vista del sistema telescópico  
del acelerador**



La **Figura 2** es una vista completa en planta de la nueva línea de inyección.

**Figura 2**  
Esquema de la línea de inyección del acelerador



En la página siguiente se muestra el estado de avance de dicha línea de inyección a septiembre de 1999. Actualmente han llegado al Centro Atómico Ezeiza el nuevo imán inyector y el analizador electrostático, ambos de 90° de giro (faltantes en la foto). Estas dos componentes completan la línea de inyección.

La fuente de iones ha sido puesta en marcha y se ha transportado un haz de azufre en la primera sección de la línea de inyección. Esta prueba piloto permitió establecer que se han conseguido las condiciones requeridas de alto vacío y alineación de la línea de transporte.

Vista de la línea de inyección del acelerador

