

# capítulo IV

---

## APLICACIONES DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

---

### IV.I. INTRODUCCIÓN

---

Las aplicaciones en medicina, industria, investigación y enseñanza constituyen los usos más difundidos de las radiaciones ionizantes. Más de 1400 instituciones públicas y privadas, distribuidas en todo el país, emplean materiales radiactivos y fuentes de radiación para dichas aplicaciones. El licenciamiento y fiscalización de todas esas instalaciones y de su personal, demanda una amplia y diversificada actividad adicional de la Autoridad Regulatoria, consecuentemente del ENREN.

---

## IV.2. APLICACIONES EN MEDICINA

---

En medicina, los radioisótopos y fuentes de radiación se emplean con propósitos de diagnóstico, para obtener información anatómica o funcional sobre el estado de la salud de los pacientes, o con fines terapéuticos para el tratamiento de tumores malignos. Usualmente, las aplicaciones de fuentes de radiaciones ionizantes se clasifican en tres áreas: medicina nuclear, radioterapia y radiodiagnóstico. La fiscalización de los equipos específicamente destinados a generar rayos x es competencia del Ministerio de Salud y Acción Social, según la Ley N° 17 557 y Decretos Reglamentarios.

### IV.2.I. MEDICINA NUCLEAR

---

En medicina nuclear se utilizan radioisótopos, en forma de fuentes no selladas, con los cuales se elaboran productos radiofarmacéuticos que se administran a los pacientes con fines de diagnóstico o terapia.

#### IV.2.I.I. DIAGNÓSTICO

---

Al suministrar un radiofármaco al paciente, el mismo se aloja selectivamente, de acuerdo al metabolismo, en un determinado órgano o tejido. En virtud de la radiación que emite el radionucleido, es posible detectar su presencia -mediante equipos apropiados- desde el exterior del organismo. La información resultante, correspondiente a distintos puntos del tejido, se recoge en una imagen que es analizada a los fines del diagnóstico.

Los sistemas de detección y dispositivos utilizados han evolucionado con el tiempo y en la actualidad se cuenta con la posibilidad de realizar estudios de diagnóstico estáticos, dinámicos, tomográficos, *in vitro*, o *in vivo*.

#### IV.2.I.2. TRATAMIENTO

---

Consiste en la administración de un compuesto radiofarmacéutico preparado específicamente para que sea captado por el órgano o tejido a tratar y libere dentro del mismo su energía radiante, con la finalidad de destruir células malignas. Ejemplo típico de este método son los tratamientos del hipertiroidismo y del cáncer de tiroides, en los cuales se utiliza iodo 131 con actividades de hasta 10 GBq.

## IV.2.2. RADIOTERAPIA

---

En los procedimientos radioterapéuticos se irradian, con elevadas dosis de radiación, los tejidos afectados de los pacientes; en el caso de la teleterapia se utilizan fuentes selladas o aceleradores de partículas, ubicadas a cierta distancia del paciente; en el caso de la braquiterapia se emplean fuentes selladas colocadas en contacto o a muy poca distancia de los tejidos a irradiar.

### IV.2.2.1. TELETERAPIA

---

Este tipo de tratamiento se realiza focalizando un haz de radiación sobre el tumor a irradiar, desde una fuente ubicada a cierta distancia del paciente. La teleterapia se realiza con equipos de baja, media y alta energía, siendo los más comunes los de cobaltoterapia y los aceleradores de partículas.

### IV.2.2.2. BRAQUITERAPIA

---

La braquiterapia es un tratamiento terapéutico que se realiza a corta distancia entre la fuente y el tejido a irradiar. Se emplean fuentes selladas que se implantan en la zona tumoral del paciente o en una región muy próxima a ella y permanecen implantadas del orden de 72 a 96 horas. Se pueden diferenciar tres tipos de aplicaciones con estas fuentes: intracavitarias, intersticiales y superficiales.

---

## IV.3. APLICACIONES EN LA INDUSTRIA

---

El empleo de fuentes radiactivas en dispositivos y procesos industriales está ampliamente difundido. Estas fuentes poseen actividades comprendidas entre varios MBq y algunos GBq. Se utilizan, principalmente, para la medición de parámetros de procesos industriales en actividades petrolíferas y en gammagrafía industrial.

### IV.3.1. MEDIDORES DE PARÁMETROS DE PROCESOS INDUSTRIALES

---

Estos equipos se utilizan para medir espesor, nivel, densidad, caudal, etc. en procesos industriales y de producción. Los mismos constan de una fuente radiactiva y de un detector de radiación. Dicha fuente emite radiaciones que atraviesan el material cuyos parámetros se quiere controlar, y el detector mide diferencialmente la cantidad de radiación que llega a él.

### IV.3.2. APLICACIONES PETROLÍFERAS

---

En la prospección petrolífera se utilizan equipos que determinan el perfil de las propiedades del terreno a grandes profundidades, permitiendo inferir cuáles son las posibilidades existentes de que un medio geológico dado albergue petróleo.

Dentro de las técnicas de perfilaje utilizadas, se encuentra la del relevamiento de la porosidad de las paredes del pozo. Ésta consiste en el análisis de la respuesta de la interacción de la radiación gamma con los materiales que conforman las paredes del pozo, para lo cual se utilizan fuentes de cesio 137 con actividades de hasta 100 GBq.

En las mediciones de caudal de agua para la recuperación secundaria de petróleo, se utilizan soluciones de yodo 131, con actividades menores de 1 TBq, diluidas en el agua de inyección.

### IV.3.3. GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL

---

La gammagrafía industrial es una técnica no destructiva destinada a investigar la calidad de soldaduras en cañerías, piezas de fundición y estructuras diversas.

Se utiliza una fuente que emite radiación gamma; la radiación atraviesa el material que se inspecciona e impresiona una película fotográfica, obteniéndose así una imagen del objeto bajo estudio -o de la soldadura- y los posibles defectos.

La fuente está alojada en el interior de un blindaje compacto, denominado proyector, existiendo un mecanismo manejado a distancia para llevar la fuente hasta la posición de irradiación. Las fuentes más difundidas son las de iridio 192; otros radioisótopos usados en gammagrafía son cobalto 60, cesio 137, iterbio 169 y tulio 170. Las actividades de las fuentes son de hasta 3 TBq.

---

## IV.4. APLICACIONES EN INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

---

El uso de radionucleidos como trazadores, en técnicas experimentales de laboratorio, permite obtener información a veces imposible de conseguir de otro modo. El radionucleido utilizado se comporta, en el sistema biológico, de igual manera que el isótopo estable de la familia a la que pertenece; por lo tanto puede detectarse su existencia a través de la radiación que emite.

Se emplean trazadores para la investigación en agricultura, ganadería, edafología, geoquímica, biología molecular, genética molecular, ecología y estudios ambientales.

Algunos de los radionucleidos utilizados son: hierro 59 para estudios biológicos, carbono 14 para estudios de fotosíntesis y mediciones de respiración, azufre 35 para marcación de insectos, y tritio para biología molecular, radiobiología, metabolismo y movimiento de agua en suelos. Las actividades que se emplean son inferiores a 1 GBq.

---

## **IV.5. MARCO REGULATORIO**

---

La actividad regulatoria relacionada con las aplicaciones médicas, industriales y de investigación está contemplada en un conjunto de disposiciones reglamentarias y normas que establecen los requisitos que deben satisfacer las instalaciones, los equipos y el personal autorizado. Seguidamente se resumen las principales disposiciones vigentes:

### **IV.5.I. REGLAMENTO PARA EL USO DE RADIOISÓTOPOS Y RADIACIONES IONIZANTES - DECRETO N° 842/58**

---

El Reglamento establece que: "Ninguna persona podrá elaborar, producir, recibir, adquirir, proveer, usar, importar, exportar o utilizar en ninguna forma materiales radiactivos, si no está debidamente autorizada por un permiso general o específico otorgado por la CNEA". Asimismo, establece que la CNEA fiscalizará la aplicación del Reglamento, y sancionará los casos de violación del mismo.

Las personas solicitantes de permisos específicos deben satisfacer ciertos requisitos cuyo cumplimiento es evaluado por un Consejo Asesor en Aplicación de Radioisótopos (CAAR), integrado por representantes de la CNEA, del Ministerio de Salud y Acción Social y de la Universidad de Buenos Aires (UBA).

En el corriente año se han reorganizado las funciones de la CNEA y, como se menciona en el Capítulo I, todas las facultades regulatorias que estaban a cargo de la misma le han sido conferidas al Ente Nacional Regulador Nuclear, creado por el Poder Ejecutivo Nacional mediante el Decreto Nro. 1540 dictado el 30 de agosto de 1994.

Considerando que el CAAR, creado en el ámbito de la CNEA, cumple funciones de carácter eminentemente regulatorio, por Resolución Nro. 853/94 de la CNEA, dicho Consejo fue transferido en todas sus funciones al ENREN, a quien brindará asesoramiento.

Los principales requisitos para permisos específicos son:

- La finalidad del uso debe estar justificada.
- Las instalaciones, equipos y accesorios deben ser los apropiados.
- Se debe poseer conocimiento y experiencia documentados, y entrenamiento específico bajo la supervisión de un profesional autorizado.

Los permisos tienen validez por el período establecido en cada caso particular. La Autoridad Regulatoria -el ENREN- puede cancelar o modificar un permiso concedido cuando haya comprobado la violación de las disposiciones del Reglamento, o de las condiciones del permiso, o cuando esté en peligro la salud, la vida o los bienes de las personas. La Autoridad Regulatoria fija las multas y sanciones a aplicar a los infractores al Reglamento, las que pueden incluir el decomiso del material radiactivo. A partir de 1995, las multas y sanciones serán aplicadas por el ENREN.

#### **IV.5.2. REGLAMENTO DE SANCIONES POR VIOLACIONES A LAS NORMAS DEL DECRETO N° 842/58 - RESOLUCIÓN DEL DIRECTORIO DE LA CNEA N° 272/65 Y SU MODIFICATORIA, RESOLUCIÓN N° 380/80**

Este Reglamento establece las sanciones a aplicar según el tipo de infracción. Las sanciones previstas consisten en apercibimiento, multa, cancelación de permisos, clausura de la instalación y hasta secuestro y decomiso del material radiactivo. Estas sanciones, que se aplicaban mediante Resolución del Directorio de la CNEA, serán aplicadas en adelante por Resolución del Directorio del Ente Nacional Regulador Nuclear, y no excluyen las responsabilidades penales que pudiesen corresponder.

#### **IV.5.3. USO DE RADIOISÓTOPOS EN MEDICINA. RESOLUCIÓN DE LA CNEA N° 1790/76**

Establece los requerimientos mínimos para la obtención de permisos específicos, tanto individuales como institucionales, para el uso de radioisótopos en medicina.

Las solicitudes deben ser consideradas por el CAAR que, en el caso de emitir una opinión favorable, recomienda a la Autoridad Regulatoria la extensión del permiso solicitado. Desde el año próximo, el CAAR efectuará dichas recomendaciones al ENREN, quien será el responsable de extender los permisos. Para el empleo de radioisótopos en seres humanos, se requiere ser

médico, tener formación teórica en el empleo de radioisótopos y radiaciones ionizantes y acreditar una participación clínica activa en la aplicación de los mismos bajo la supervisión de un profesional autorizado.

Las instituciones donde se llevan a cabo las aplicaciones médicas deben contar, para ser habilitadas, con instalaciones y equipos adecuados para el uso propuesto de acuerdo a las normas establecidas. El titular de la instalación debe designar a un médico como responsable directo por la seguridad radiológica relacionada con la tenencia y el uso de material radiactivo quien, a su vez, debe poseer un permiso individual otorgado por la Autoridad Regulatoria.

En la citada Resolución se establecen las condiciones particulares de formación teórica y práctica que debe reunir el responsable, para cada propósito, de uso de material radiactivo en seres humanos. Para usos de radioisótopos en técnicas de diagnóstico que no impliquen la aplicación en seres humanos, el responsable no debe ser necesariamente médico, sino que puede ser un profesional del área bioquímica.

#### **IV.5.4. NORMA SOBRE "OPERACIÓN DE UNIDADES DE TERAPIA RADIANTE" Y "OPERACIÓN DE UNIDADES DE MEDICINA NUCLEAR" - RESOLUCIÓN CONJUNTA SECRETARÍA DE ESTADO DE SALUD PÚBLICA (SESP) - CNEA N° 3377/80**

---

Esta norma está destinada a prever el adecuado equipamiento y dotación de personal de los centros médicos destinados a la atención de pacientes en unidades de terapia radiante y medicina nuclear. La norma es de cumplimiento obligatorio en el ámbito nacional, conforme con los alcances del Decreto N° 842/58, para los equipos y usuarios que utilicen radioisótopos y aceleradores de partículas, y con los de la Ley N° 17557 para los generadores de rayos x. Actualmente se encuentra en revisión por parte de ambas instituciones.

##### **EN RELACIÓN A LA OPERACIÓN DE UNIDADES DE TERAPIA RADIANTE**

Una unidad de terapia radiante está destinada al tratamiento de pacientes con radiación ionizante y posee, generalmente, capacidad para realizar actividades docentes.

Los principales requerimientos que establece la norma son:

- Poseer equipamiento con la diversidad y calidad apropiadas para asegurar una adecuada atención médica a los pacientes (equipos de terapia superficial, media y profunda, simulador de irradiación, dosímetro, instalaciones de braquiterapia, etc.)
- Cumplir procedimientos destinados a la calibración y control periódico de los equipos de tratamiento e instrumental dosimétrico.
- Participar en ejercicios de intercomparación dosimétrica.
- Cumplir requisitos de formación y entrenamiento del personal médico y físico.
- Disponer de instalaciones adecuadas para la internación de pacientes portadores de fuentes radiactivas.

### EN RELACIÓN A LA OPERACIÓN DE UNIDADES DE MEDICINA NUCLEAR

Una unidad de medicina nuclear consiste en un servicio que dispone de la infraestructura necesaria para el empleo de radioisótopos en diversas técnicas de diagnóstico *in vivo* e *in vitro* y de terapia.

Los principales requerimientos que establece la norma son:

- Poseer equipamiento en diversidad y calidad apropiadas para asegurar una adecuada atención médica a los pacientes.
- Cumplir procedimientos de controles periódicos de los equipos.
- Cumplir requisitos de formación del personal médico y físico.
- Participar en ejercicios de intercomparación de resultados.

### IV.5.5. RESOLUCIÓN DE LA CNEA N° 219/88

---

Reglamenta el período de vigencia y las condiciones de renovación de los permisos para el uso de radioisótopos y radiaciones ionizantes en el ámbito de la medicina, tanto con fines de diagnóstico como de tratamiento.

A partir de la fecha de vigencia de esta Resolución, todos los permisos otorgados tienen una validez máxima de cinco años.

### IV.5.6. OPERACIÓN DE EQUIPOS DE GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL - NORMA AR 7.9.I.

---

El objetivo de esta norma es establecer requisitos mínimos de seguridad para la operación de equipos de gammagrafía industrial.

Los requisitos más importantes son:

- Sólo podrán operar equipos de gammagrafía, las entidades que tengan un responsable registrado y autorizado, y cuenten con operadores con permiso individual para este propósito.
- Se deben realizar controles rutinarios, mantenimiento preventivo e inspecciones anuales, de los equipos de gammagrafía, sus accesorios y fuentes radiactivas.

También establece las condiciones mínimas de seguridad del depósito donde se almacenan los equipos y fuentes, las características de los contenedores para la

transferencia de fuentes, y las condiciones para el almacenamiento y gestión de fuentes fuera de uso.

Para el transporte de fuentes radiactivas se aplica el “Reglamento para el transporte seguro de material radiactivo” del OIEA, el que fue adoptado por la Autoridad Regulatoria, y el “Reglamento de transporte de materiales peligrosos” de la Secretaría de Transporte.

La entidad autorizada debe mantener actualizado un sistema de registro del material radiactivo y del movimiento de proyectores, fuentes e instrumental así como de las novedades que se produzcan con relación a estos materiales.

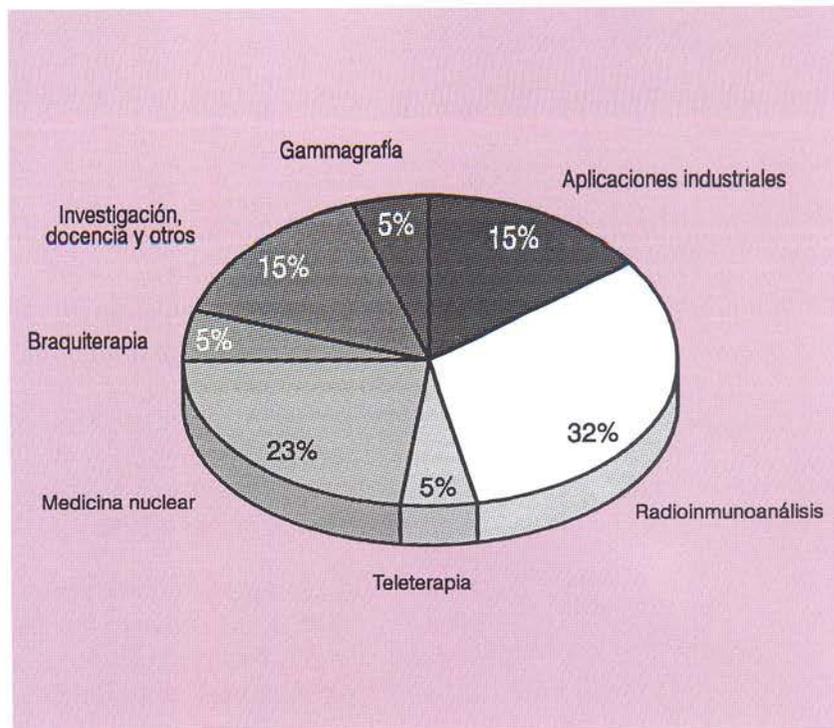
#### IV.5.7. OPERADORES DE GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL - RESOLUCIÓN DE LA CNEA N° 1018/87

Establece los requisitos que debe reunir una persona para obtener y renovar permisos específicos individuales para poder operar equipos de gammagrafía industrial. Un operador de gammagrafía debe poseer apropiadas condiciones psicofísicas, ser mayor de edad, tener estudios secundarios completos, así como capacitación y práctica comprobables. Los permisos individuales se renuevan cada tres años si el interesado demuestra que como mínimo mantiene las mismas aptitudes que al solicitar el permiso original, y si realiza un curso de actualización de operación de equipos de gammagrafía.

#### IV.6. ACCIONES REGULATORIAS

La fiscalización de las fuentes de uso médico, industrial, de investigación y enseñanza implica el control de unas 1400 instalaciones en todo el país. Se describen, a continuación, las principales actividades regulatorias que se realizan para cumplir con esa responsabilidad, las que se presentan y cuantifican en las Figuras IV.1. a IV.9.

## PERMISOS INSTITUCIONALES VIGENTES



TOTAL DE PERMISOS VIGENTES: 1403

Figura IV.I.

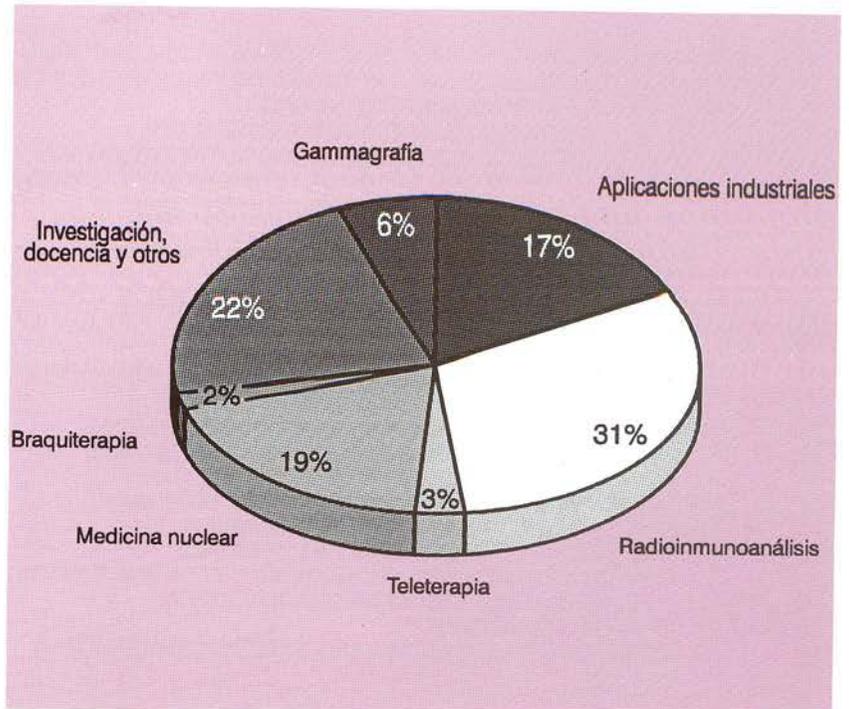
## IV.6.I. OTORGAMIENTO DE PERMISOS INDIVIDUALES E INSTITUCIONALES

Toda institución o individuo que desee utilizar material radiactivo debe solicitar un permiso, para lo cual debe presentar la documentación necesaria y cumplir los requisitos administrativos y técnicos establecidos.

Las solicitudes de permisos, tanto individuales como institucionales, son analizadas en relación con las normas vigentes respecto a la protección radiológica de los trabajadores, del público y de los pacientes cuando correspondiere, teniendo en cuenta la operación normal de las instalaciones y las consecuencias radiológicas de eventuales accidentes.

Las solicitudes individuales que cumplimentan los requisitos se elevan, con los antecedentes del solicitante, al CAAR, el que evalúa el pedido y puede recomendar favorablemente, o no, el otorgamiento de los permisos específicos.

PERMISOS INDIVIDUALES VIGENTES

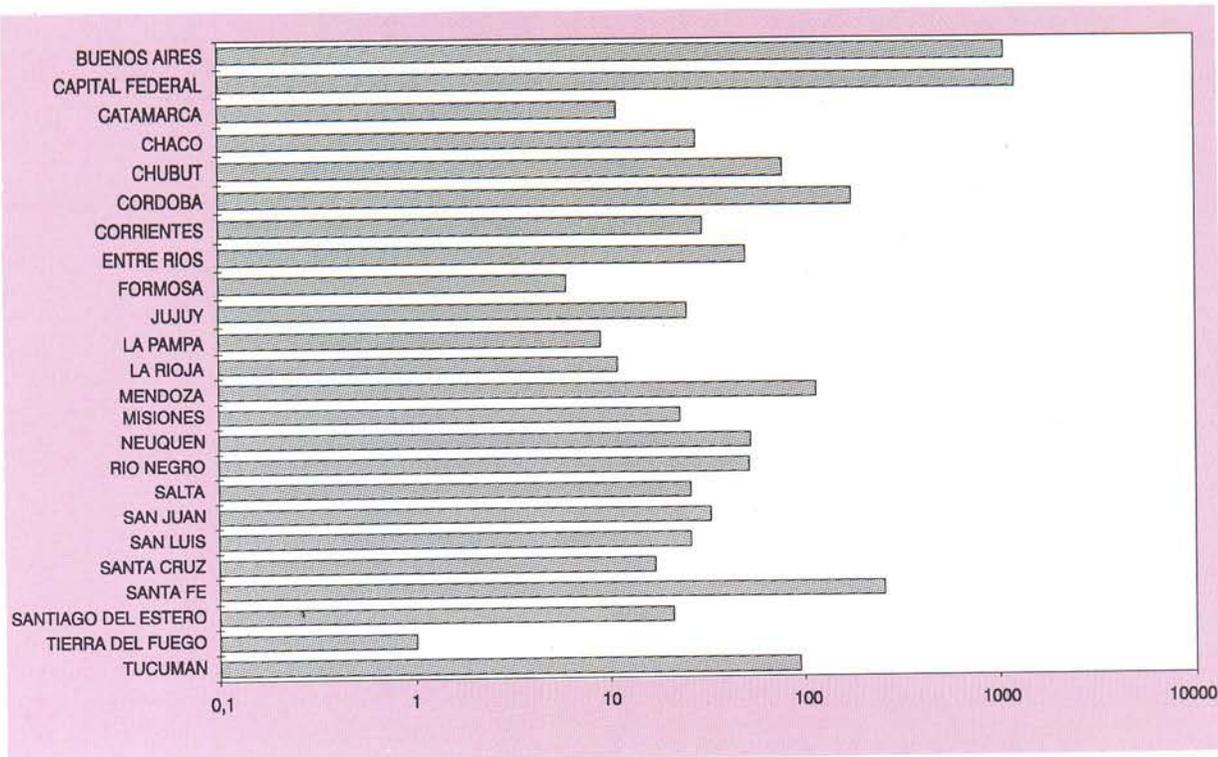


TOTAL DE PERMISOS VIGENTES: 3442

Figura IV.2.

En el caso de las solicitudes institucionales, además del análisis de la documentación, se verifica *in situ* la instalación, a efectos de comprobar el cumplimiento de los requisitos para el propósito solicitado. Esta verificación constituye una inspección de habilitación. Si el resultado es positivo, los antecedentes se elevan al CAAR, siguiendo igual gestión que los permisos específicos individuales.

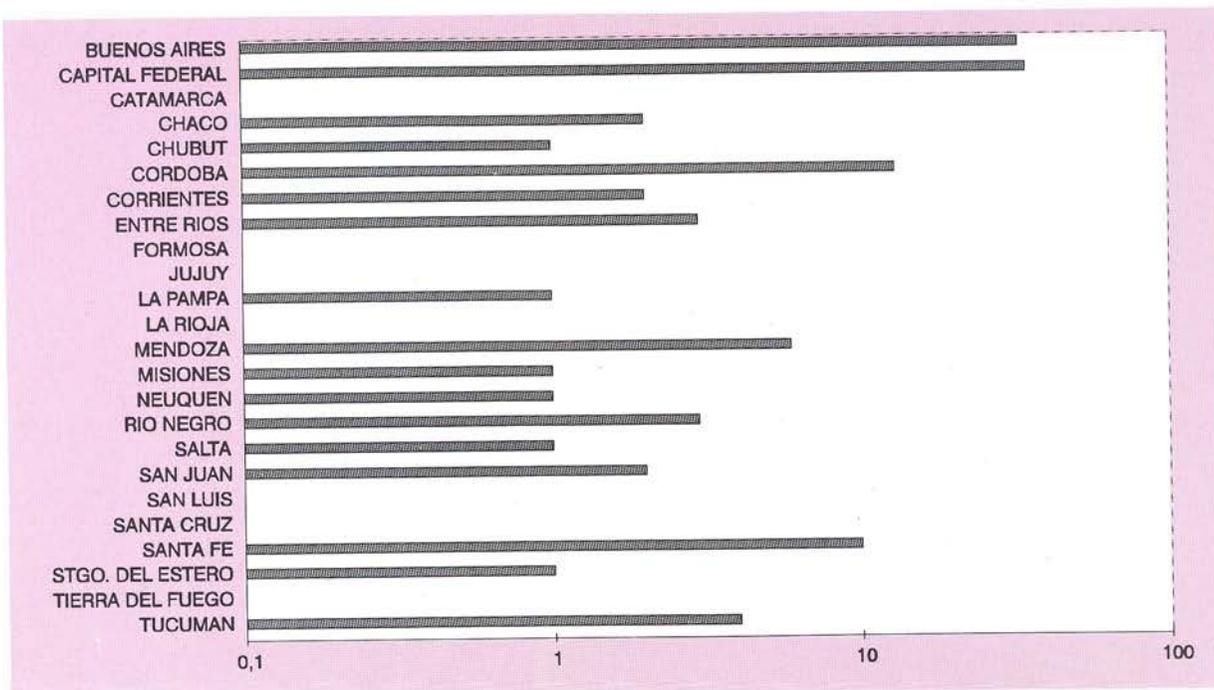
PERMISOS INDIVIDUALES VIGENTES



TOTAL DE PERMISOS VIGENTES: 3442

Figura IV.3.

EQUIPOS DE ALTA ENERGÍA



TOTAL DE EQUIPOS: 119

Figura IV.4.

SERVICIOS DE MEDICINA NUCLEAR

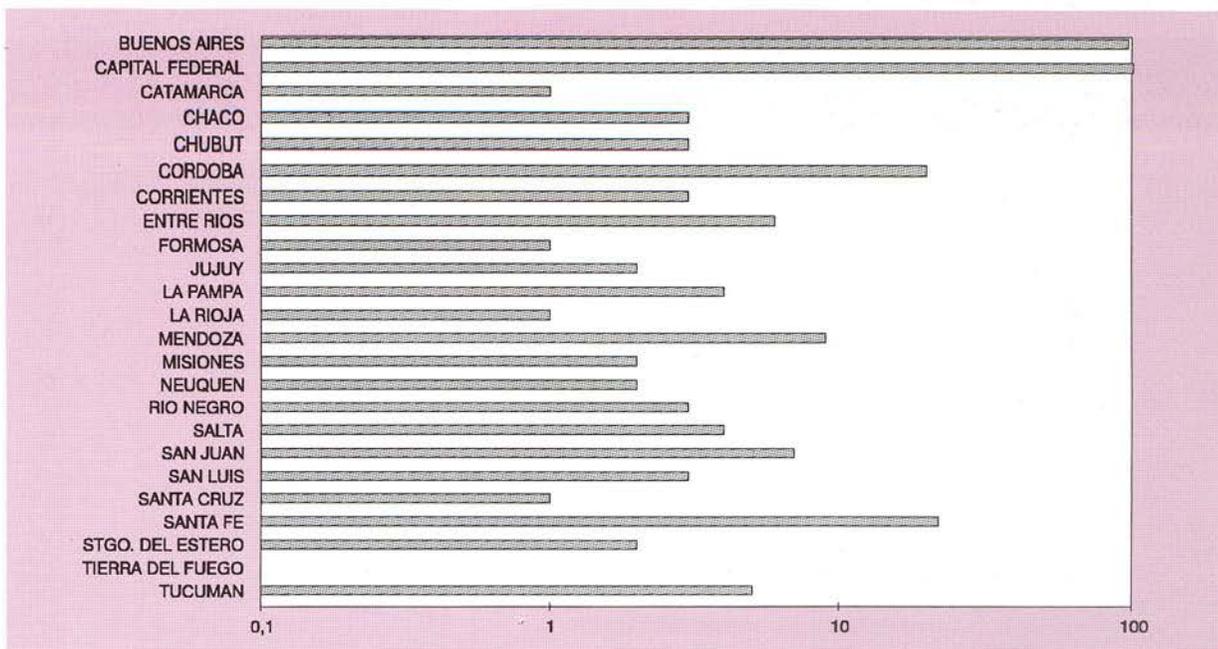


Figura IV.5.

TOTAL DE SERVICIOS: 302

RENOVACIÓN DE PERMISOS

Las normas en vigencia establecen limitaciones a la validez de los permisos específicos, tanto individuales como institucionales. Para la renovación de los permisos específicos individuales se requiere que la persona interesada acredite haberse desempeñado en la práctica en cuestión, durante, por lo menos, el tiempo equivalente a los dos tercios del lapso de validez de los permisos, y pruebe que tiene la pertinente actualización teórico práctica en la especialidad. En el caso de la renovación de los permisos específicos institucionales, el responsable de la entidad deberá presentar la lista del plantel médico, físico o técnico con que contará la entidad y el detalle del equipamiento y de las instalaciones.

SANCIONES

El poseedor de un permiso está sujeto al régimen de sanciones por infracción a las normas y los requerimientos a cuyo cumplimiento está obligado. Las sanciones prevén la aplicación de multas, decomiso de equipos, y suspensión temporal o definitiva de los permisos.

Para poder aplicar el régimen de sanciones, en el Decreto N° 842/58 se establece que en el caso que existan peligros para la salud, los bienes o la vida de la población, la CNEA puede llegar a requerir el auxilio de la fuerza pública para proceder a secuestrar el material radiactivo involucrado. En el caso de secuestro cautelar, el material radiactivo queda en depósito en las instalaciones de la CNEA hasta tanto se solucionen las situaciones que dieron lugar a la intervención de la Autoridad Regulatoria. De acuerdo a lo establecido por el Decreto

Nro. 1540/94, la función que cumplía la CNEA en este aspecto fue transferida al ENREN.

## EQUIPOS MEDIDORES INDUSTRIALES



Figura IV.6.

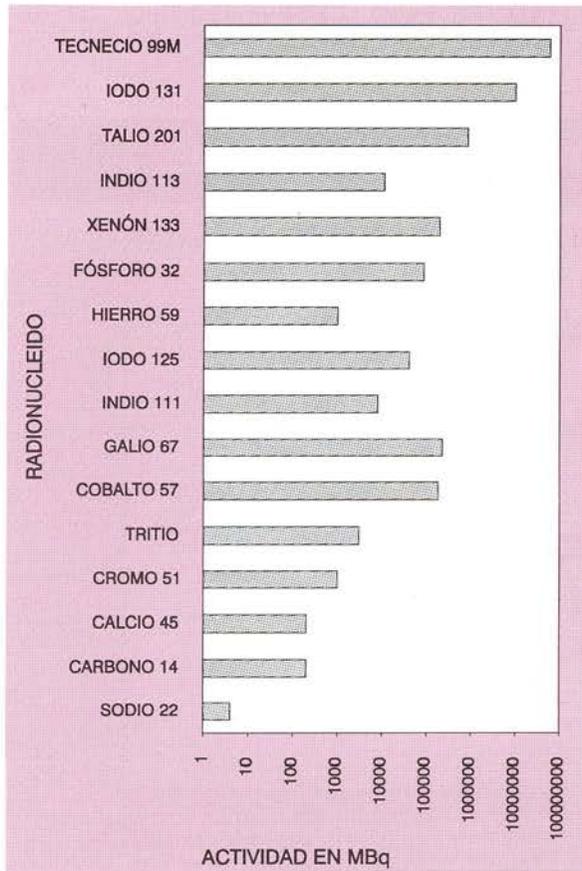
### PERMISOS DE IMPORTACIÓN

Los importadores de material radiactivo deben disponer de un permiso específico para tal fin, otorgado por la CNEA. A partir de 1995 por el ENREN. Adicionalmente, cada ingreso de material radiactivo al país debe ser previamente autorizado por la Autoridad Regulatoria. La Administración Nacional de Aduanas supervisa, a su vez, que el importador disponga de la autorización correspondiente, para dar curso al trámite de importación. En caso de ser necesario, se realiza una inspección de dicho material radiactivo, antes de su ingreso a plaza.

### REGISTRO DE EXPORTACIÓN

Las exportaciones de material radiactivo deben ser registradas, así como los contenedores que se utilizan para su transporte. Tal es el caso de equipos con fuentes radiactivas enviados para su reparación o reemplazo de la fuente, contenedores con material radiactivo, equipos de gammagrafía que se trasladan a otros países para realizar determinados trabajos, etc.

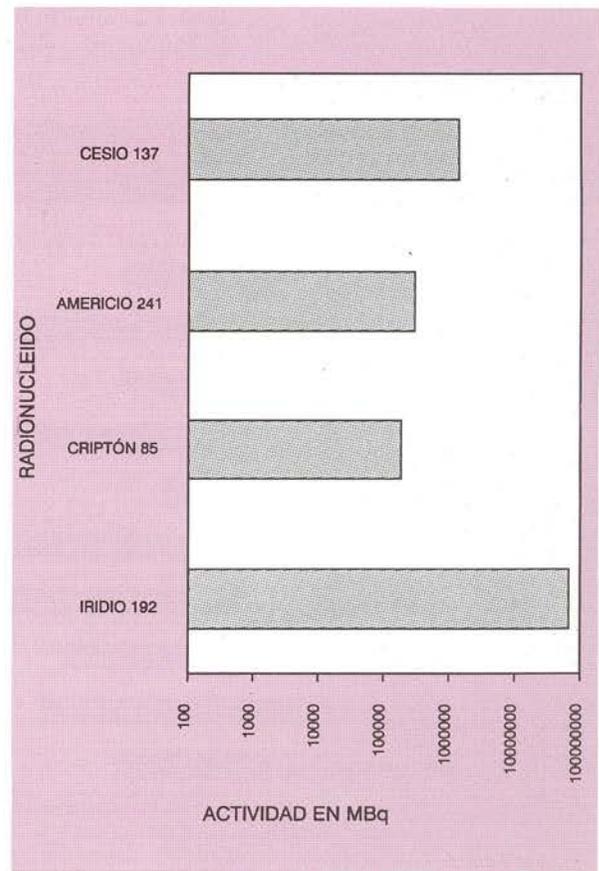
**USOS MÉDICOS**  
Actividad total



ACTIVIDAD TOTAL: 71 TBq

Figura IV.7.

**APLICACIONES INDUSTRIALES**  
Actividad total



ACTIVIDAD TOTAL: 69 TBq

Figura IV.8.

**IV.6.2. INSPECCIÓN DE INSTALACIONES**

**INSPECCIONES DE HABILITACIÓN**

Cuando la entidad solicitante completa la presentación de la documentación requerida, se efectúa una inspección de habilitación, con la finalidad de verificar el cumplimiento de las condiciones de seguridad radiológica para cada propósito, de acuerdo a lo establecido por las normas vigentes y a los requerimientos particulares que corresponda aplicar a la práctica solicitada. Si el informe de la inspección es satisfactorio, se presentan los antecedentes al CAAR y luego a la Autoridad Regulatoria.

**INSPECCIONES PERIÓDICAS**

Las instituciones habilitadas se inspeccionan periódicamente a efectos de verificar que la seguridad radiológica de las instalacio-

nes, los equipos y las condiciones de trabajo son satisfactorias. La frecuencia de estas inspecciones, así como la modalidad de las mismas, están determinadas por el tipo de aplicación para la que se utiliza el material radiactivo y por el resultado de las inspecciones previas.

## FISCALIZACIÓN DE FUENTES COMO RESIDUOS

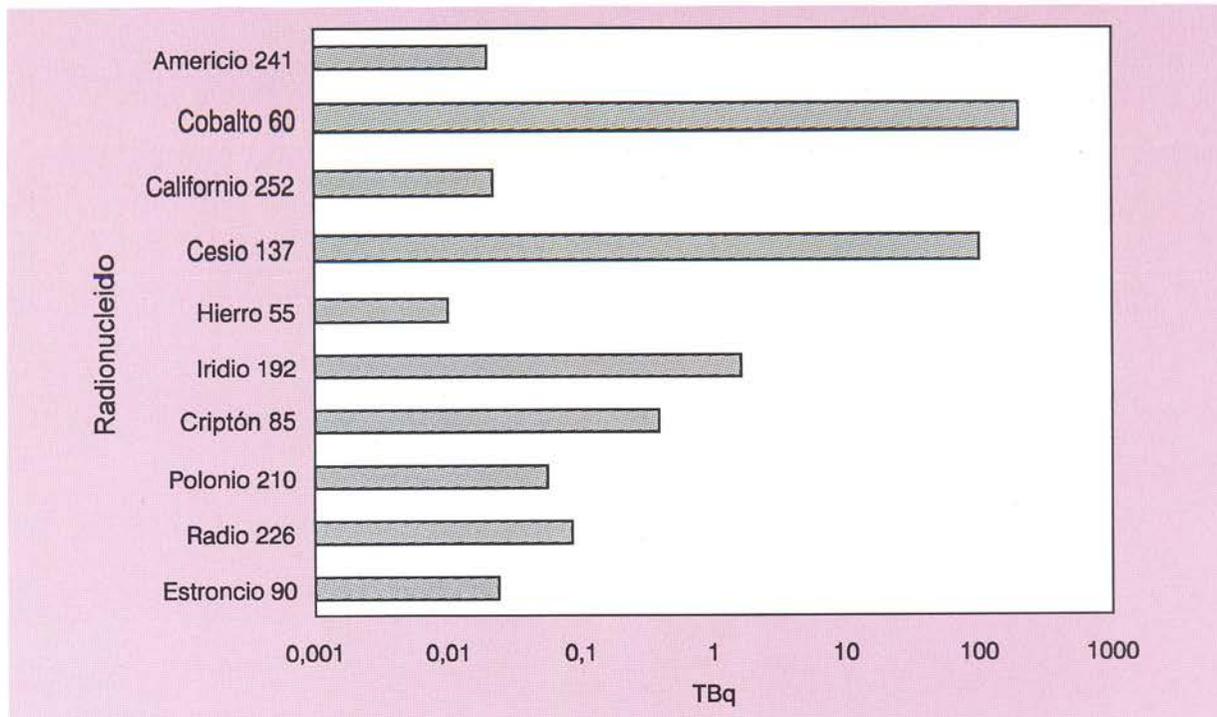


Figura IV.9.

En las inspecciones que realiza la autoridad Regulatoria se verifican los siguientes aspectos:

### ■ REGLAMENTARIOS

Se analizan los antecedentes del usuario en cuanto al cumplimiento de su responsabilidad individual, la validez de los correspondientes permisos específicos individuales e institucionales, el cumplimiento de requerimientos de anteriores inspecciones, etc.

### ■ INSTALACIONES

Se verifica el mantenimiento de las condiciones de la instalación tal como fue habilitada y se analizan las modificaciones que contribuyan a mejorar las condiciones de seguridad radiológica. Se efectúa un relevamiento de toda la zona en donde se utiliza o guarda material radiactivo (a efectos de detectar una posible contaminación) y se miden las tasas de dosis en la instalación para las diversas condiciones de trabajo. Se comprueba el correcto funcionamiento de los enclavamientos y de otros sistemas de seguridad.

### ■ EQUIPAMIENTO

Se verifica el correcto funcionamiento y calibración de los equipos y del instrumental de radioprotección.

■ **PERSONAL**

Se realiza una evaluación de los informes mensuales de la dosis recibida por el personal y, si es necesario, se recomienda introducir modificaciones en la metodología de trabajo a efectos de disminuir la exposición ocupacional. En la **Tabla IV.I.**, y a modo de ejemplo, se presenta el promedio típico de las dosis ocupacionales para algunas actividades médicas e industriales.

■ **GESTIÓN DE RESIDUOS**

Durante el trabajo con radioisótopos, pueden generarse residuos radiactivos sólidos (contaminación de materiales diversos como ser recipientes, jeringas, algodón, papel, guantes de goma, material de vidrio, etc.) y, además, residuos radiactivos líquidos. Ambos tipos de residuos deben ser gestionados según procedimientos adecuados. En las inspecciones se verifica que los diferentes residuos radiactivos estén segregados, almacenados y rotulados. En el caso de ciertos residuos líquidos de baja actividad, se verifica que el tiempo de almacenamiento sea suficiente para alcanzar un decaimiento adecuado antes de su eliminación como residuos convencionales.

■ **CONTROL DE FUENTES SELLADAS**

Se controla el inventario de fuentes selladas en el país, con el objeto de asegurar tanto su utilización en condiciones seguras como la gestión final de las mismas una vez consideradas residuos radiactivos.

**TABLA IV.I. DOSIS OCUPACIONALES EN ALGUNAS ACTIVIDADES MÉDICAS E INDUSTRIALES.**

TIPO DE ACTIVIDAD	DOSIS INDIVIDUAL PROMEDIO (mSv)
Radiografía industrial	0,59
Medicina nuclear	0,82
Radioterapia	1,04

## IV.7. INSTALACIONES RADIATIVAS

El presente punto se refiere a las denominadas instalaciones radiactivas relevantes y no relevantes. La mayoría de estas instalaciones pertenece a la CNEA y se encuentran distribuidas en el Centro Atómico Ezeiza (CAE) y en el Centro Atómico Constituyentes (CAC), ambos ubicados en la Provincia de Buenos Aires, y en el Centro Atómico Bariloche (CAB) ubicado en la Provincia de Río Negro, **Figura IV.IO (a, b y c).**

## CENTRO ATÓMICO EZEIZA

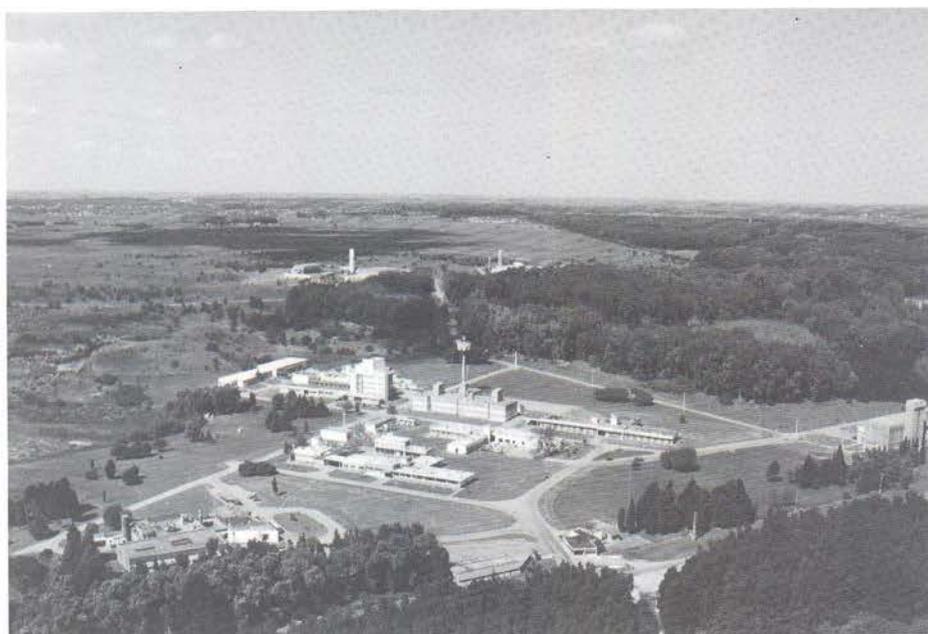


Figura IV.10 a

Semi-industrial de Irradiación, la Planta de Fabricación de Fuentes Selladas de cobalto 60 e iridio 192, la Planta de Producción de molibdeno 99 por fisión, el Área Gestión de Residuos Radiactivos, el Ciclotrón de Producción, instalaciones de investigación y desarrollo, y laboratorios e instalaciones de la Autoridad Regulatoria. Estos últimos, por lo dispuesto en el Decreto 1540/94, serán

transferidos al ENREN.

## CENTRO ATÓMICO CONSTITUYENTES



Figura IV.10 b

El CAC reúne laboratorios dedicados a investigación y desarrollo, e instalaciones destinadas a materiales, metalurgia y servicios. En este centro se lleva a cabo una importante actividad en la formación de personal y en él se instalaron los primeros reactores nucleares de investigación que se construyeron en Argentina. En la actualidad funcionan allí el Acele-

## CENTRO ATÓMICO BARILOCHE



Figura IV.10 c.

rador de Iones Pesados (TANDAR), el primer reactor nuclear argentino (RA-1), la planta de fabricación de Elementos Combustibles para Reactores de Investigación (ECRI), el Laboratorio Alfa y la Planta de Conversión de  $UF_6$  a  $U_3O_8$ .

En el CAB se realiza investigación básica y aplicada, cumpliéndose allí, además, buena parte de la formación de personal, fundamentalmente la encarada por el Instituto Balseiro. En el CAB opera el Acelerador Lineal (LINAC) y, desde el año 1982, el reactor de docencia e investigación RA-6, principal herramienta para alumnos de ingeniería nuclear e investigadores. También posee instalaciones radioquímicas y laboratorios de investigación en el campo de la física.

### IV.7.1. PLANTA DE PRODUCCIÓN DE RADIOISÓTOPOS

---

El propósito de esta planta es la producción de radioisótopos para uso medicinal, agropecuario e industrial, siendo los más significativos: iodo 131, sodio 24, potasio 42, generadores de molibdeno-tecnecio (molibdeno 99-tecnecio 99m) y de estaño-indio (estaño 113-indio 113m), moléculas marcadas, fósforo 32 y cromo 51. La instalación fue diseñada y construida por la CNEA.

La planta está constituida por un conjunto de celdas estancas o de presión controlada, ordenadas alrededor de un corredor **caliente**, por donde ingresan los materiales radiactivos para ser procesados. Dicho corredor se comunica por uno de sus extremos con el edificio del reactor RA-3 (zona por la que ingresa el material irradiado correspondiente a cada proceso de producción) y dispone de un único acceso, controlado, para el ingreso y egreso de equipos y personal.

### IV.7.2. PLANTA DE PRODUCCIÓN DE MOLIBDENO 99 POR FISIÓN

---

Entre los radioisótopos de mayor uso en medicina figura el tecnecio 99m. Debido a su corto período de semidesintegración (6 horas), su utilización se restringía a instalaciones médicas cercanas al CAE y no podía llegar al interior del país. Para subsanar en parte este problema, a partir del año 1975, la CNEA comenzó a comercializar un generador de tecnecio 99m proveniente de molibdeno 99. El generador está constituido por un sistema de dos radionucleidos, uno de 66 horas de período de semidesintegración (molibdeno 99) que genera otro de período de semidesintegración más corto (tecnecio 99m) en equilibrio radiactivo. El molibdeno 99 utilizado en los generadores se importaba hasta el año 1985.

Este radionucleido había comenzado a obtenerse por activación en el RA-3, pero debido a las características de ese reactor, la actividad de molibdeno 99 resultaba insuficiente para satisfacer la demanda del mercado interno. Por lo tanto, a partir del año 1985, comenzó a obtenerse el molibdeno 99 como producto de fisión y esto hizo posible contar con generadores de mayor actividad. En abril de ese año se puso en marcha la Planta de Producción de molibdeno 99 por Fisión, de acuerdo a un programa aceptado por la Autoridad Regulatoria. El proceso parte con la irradiación, en el RA-3, de placas de aleación aluminio y uranio enriquecido al 90% en el isótopo 235, y se completa con un proceso radioquímico que permite obtener el molibdeno 99.

### IV.7.3. PLANTA SEMI-INDUSTRIAL DE IRRADIACIÓN

---

En diciembre de 1969 se dieron por terminados los trabajos de construcción de la Planta Semi-Industrial de Irradiación y en agosto de 1970, se puso en marcha. Esta planta fue diseñada y construida para una capacidad de 37 PBq de cobalto 60; actualmente su carga es de, aproximadamente, 13 PBq. La planta incluye un laboratorio de procesos que analiza y ensaya la posibilidad del empleo de dosis altas de radiación para la conservación de alimentos, esterilización de fármacos y productos biomédicos, y obtención de mejoras en productos orgánicos. La instalación consta de un recinto de irradiación, del portafuentes, de la pileta de la fuente, del mecanismo elevador y del sistema de transporte de muestras. Los muros y techos del recinto de irradiación son de hormigón con espesores de hasta 1,80 m.

El portafuentes es una estructura rectangular de acero inoxidable, dividida en nueve paneles verticales con capacidad para tres portafuentes unitarios cada uno. Sus dimensiones le permiten alojar la carga de diseño con el exceso necesario para considerar el decaimiento de las fuentes.

El agua de la pileta, de 6 m de profundidad, donde se almacena la fuente, actúa como blindaje cuando ésta se encuentra en posición de depósito. Un mecanismo elevador lleva la fuente desde esa posición en el fondo de la pileta, hasta su posición superior, de irradiación. El sistema de transporte de muestras se acciona y controla desde la sala de comando, en forma tal que las cajas llegan a disponerse paulatinamente frente a la fuente y hacen su recorrido en sucesivas etapas hasta completar la dosis correspondiente, cambiando de posición cada vez.

### IV.7.4. PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FUENTES SELLADAS

---

La CNE produce anualmente unos 110 PBq de cobalto 60, radionucleido de gran utilidad en radioterapia y en aplicaciones industriales. Hasta hace pocos años ese material se exportaba a granel y en el extranjero se procesaba para ser utilizado como fuentes selladas en telecobaltoterapia, gammagrafía industrial y plantas de irradiación industrial. En el año 1978, se inició la operación de la Planta de Producción de Fuentes Selladas. Allí es donde se procesa el cobalto 60 proveniente de la CNE. La instalación ha sido diseñada para operar con tandas de 1,5 PBq por etapa. El proceso, que se lleva a cabo en celdas blindadas mediante telemanipuladores, consiste, a grandes rasgos, en incluir el cobalto en cápsulas de acero de pared simple o doble y sellar las mismas mediante soldadura electrónica.

## IV.7.5. ÁREA GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS

El área de gestión de residuos radiactivos está ubicada en la zona norte del CAE y depende del Subprograma Gestión de Residuos Radiactivos. Es un predio de 8 hectáreas destinado al tratamiento y almacenamiento interino de residuos radiactivos de distintas actividades, y a la disposición final de aquellos cuyo período de semidesintegración sea corto (menor a 5 años) y su actividad baja. El área comprende las instalaciones descritas a continuación.

### **PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS RADIATIVOS SÓLIDOS DE BAJA ACTIVIDAD**

En esta planta se realiza la recepción, el almacenamiento, la clasificación y acondicionamiento de residuos radiactivos sólidos de baja actividad (por ejemplo, los provenientes de usos médicos). Dichos residuos son tratados a fin de obtener una reducción de volumen apreciable, mediante compactación.

### **SISTEMA DE SEMICONTENCIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS SÓLIDOS DE BAJA ACTIVIDAD**

Se trata de una instalación constituida por dos trincheras, cada una de 120 m de largo, 20 m de ancho y 2,5 m de profundidad, donde se disponen tambores de 200 litros conteniendo los residuos radiactivos provenientes, principalmente, de la CNA I y de la CNE. Una vez colmada su capacidad, las trincheras se cubren con un sistema multicapa compuesto por suelo seleccionado (tosca) compactado, una capa de imprimación asfáltica y un film de polietileno negro de 250  $\mu\text{m}$  de espesor. Finalmente, el conjunto se cubre con tosca y tierra vegetal para estabilización del suelo. En promedio, el volumen gestionado anualmente es, aproximadamente, 120  $\text{m}^3$ , del cual el 80% proviene de la CNA I y el resto de la CNE.

### **INSTALACIÓN PARA LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS SÓLIDOS ESTRUCTURALES Y FUENTES SELLADAS**

Consiste en un cubículo subterráneo de hormigón, de 10 metros de profundidad, cuyas paredes tienen un espesor de 30 cm. La instalación está destinada a la disposición final de residuos radiactivos -por ejemplo, fuentes de telecobaltoterapia, medidores industriales de nivel, partes estructurales contaminadas, etc.- que, por su actividad, no pueden ser acondicionados dentro de un tambor. El volumen anual de fuentes gestionadas y la distribución por industria ha variado en el tiempo. Es así que en 1992 de, aproximadamente, 150 fuentes gestionadas, el 80% correspondió a empresas de servicios e industrias metalúrgicas, y las restantes a la minería y a las industrias textiles, químicas, papeleras, etc.

#### **DEPÓSITO CENTRAL DE MATERIAL FISIONABLE ESPECIAL IRRADIADO**

Se trata de un depósito para el almacenamiento temporario de elementos combustibles irradiados provenientes de reactores de investigación y producción.

#### **SISTEMA DE SEMICONTENCIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS LÍQUIDOS DEL CAE**

Consiste en una instalación integrada por tres trincheras, en la cual se eliminan líquidos de baja actividad específica y corto período de semidesintegración.

### **IV.7.6. CICLOTRÓN DE PRODUCCIÓN**

---

Como respuesta a una necesidad de producción de diversos radioisótopos utilizados en Biología y Medicina Nuclear, en el año 1985 se inició el Proyecto Ciclotrón de Producción, ciclotrón isócrono de energía variable (protones de hasta 40 MeV), ubicado en el CAE.

El período de semidesintegración de los radioisótopos aludidos es muy corto, lo que impide una importación rentable. Su utilización propenderá a una modernización de los métodos de diagnóstico e investigación clínica y representará un mejoramiento para las prestaciones médicas a la población en nuestro país.

### **IV.7.7. ACELERADOR TANDAR**

---

El TANDAR, ubicado en el CAC, es un acelerador electrostático en tándem de 20 megavolt, capaz de acelerar todo tipo de iones desde hidrógeno hasta uranio. El haz de iones acelerados se utiliza para bombardear blancos de distintos tipos y, en base a las mediciones de las diferentes reacciones producidas, obtener información acerca de la estructura atómica y subatómica de la materia.

### **IV.7.8. ACELERADOR LINEAL LINAC**

---

El acelerador lineal de electrones es operado por la División Neutrones y Reactores en el CAB y comenzó a funcionar el 18 de septiembre de 1969. En la instalación se realizan, fundamentalmente, tareas de investigación vinculadas a la interacción de neutrones con la materia. Además, se llevan a cabo prácticas de la asignatura Mediciones Neutrónicas de la carrera Ingeniería

Nuclear, y se estudia la interacción de la radiación de electrones, gamma y neutrónica con distintos materiales.

El acelerador lineal es una máquina que provee un haz pulsado de electrones, con frecuencia variable entre 1 y 100 pulsos por segundo y con intensidad media de corriente variable entre 0 y 40  $\mu\text{A}$ . Opera irradiando sobre tres blancos autorizados, según las necesidades.

## **IV.7.9. INSTALACIONES EXTERNAS A LA CNEA**

---

### **IV.7.9.1. PLANTA INDUSTRIAL DE IRRADIACIÓN (PICORRAD)**

---

El 3 de marzo de 1987, la Autoridad Regulatoria expidió la autorización, en lo referente a la seguridad radiológica, para la construcción de la Planta de Irradiación Picorrad en el Partido de Tigre, la cual está destinada a realizar procesos similares a los de la planta semi-industrial que la CNEA posee en el CAE. Una vez completadas las pruebas preoperacionales, en setiembre de 1991, la Autoridad Regulatoria emitió la licencia de operación de la planta.

Dicha planta está compuesta, básicamente, por: un recinto de irradiación (integrado por una sala de irradiación y un laberinto de acceso), un depósito de productos en espera de tratamiento, un depósito para el material ya irradiado y una sala de control.

### **IV. 7.9.2. PLANTA DE IRRADIACIÓN DE BARROS (PIBA)**

---

En agosto de 1993, la CNEA encaró el diseño de una planta prototipo para irradiar efluentes cloacales mediante el empleo de fuentes radiactivas industriales de cobalto 60, de las cuales, como se ha mencionado, Argentina es productora y exportadora. La instalación, que podrá procesar efluentes provenientes de núcleos poblacionales de hasta 400 000 habitantes, será anexa a una instalación de tratamiento convencional, la que deberá proveer barros digeridos en forma aeróbica con una concentración de sólidos comprendida entre el 3 y el 5%.

La operación de la planta será totalmente automática y estará gobernada desde una sala de control centralizada, requiriéndose muy poco personal. La Entidad Responsable está presentando la documentación necesaria para obtener la licencia de construcción de la primera de estas plantas, en la Provincia de Tucumán.

### IV.7.9.3. IRRADIADOR MÓVIL DE COBALTO 60 IMCO 20

La esterilización de insectos empleando radiaciones ionizantes es un proceso muy eficiente, alternativo al tradicional control de plagas con el uso de pesticidas. Este último, si bien suele ser efectivo, implica inevitables riesgos para las personas y para el ambiente. La esterilización por radiación se ha utilizado, por ejemplo, para combatir la plaga de la **mosca del mediterráneo** (mosca de la fruta).

En la provincia de Mendoza se desarrolla un plan integral para el control de plagas, al cual se ha incorporado la citada técnica de esterilización de insectos, con el denominado IMCO 20. El equipo, de aproximadamente 5500 kg, está montado sobre un trailer, y contiene en su centro una fuente radiactiva de cobalto 60, cuya actividad inicial fue de aproximadamente 814 TBq. Por encima y por debajo de dicha fuente se deslizan dos bandejas portamuestras, donde se ubican las colonias de pupas a ser irradiadas.

La dosis de esterilización de las pupas oscila entre 90 y 100 Gy, y el tiempo de irradiación es de aproximadamente un minuto por litro de pupas (del orden de 60 000 pupas).

### IV.7.10. INSTALACIONES RADIATIVAS NO RELEVANTES

Las instalaciones radiactivas no relevantes, distribuidas en los Centros Atómicos de la CNEA, consisten en una serie de laboratorios e instalaciones menores de muy bajo riesgo radiológico para sus trabajadores y nulo para el público. La **Tabla IV.2.** presenta un resumen de tales instalaciones y de las actividades que en ellas se desarrollan:

**TABLA IV.2. INSTALACIONES RADIATIVAS NO RELEVANTES**

INSTALACIÓN	TAREAS DESARROLLADAS
DOSIMETRÍA E IRRADIACIÓN	Irradiación de muestras biológicas con equipo de rayos x y fuentes de estroncio 90
LABORATORIO MÖSSBAUER	Medición del efecto Mössbauer mediante el uso de fuentes selladas de cobalto 57
ESTUDIOS ESPECIALES	Estudios metalográficos de minerales uraníferos empleando espectrómetro de Fluorescencia de rayos x y Difractómetro de rayos x
ESPECTROMETRÍA ATÓMICA	Medición por espectroscopía de emisión de rayos x de impurezas metálicas en U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> enriquecido al 20%
ESPECTROMETRÍA DE MASAS	Análisis isotópicos de uranio con diferentes enriquecimientos
QUÍMICA GENERAL	Determinación de fósforo en muestras de uranio enriquecido al 20%
QUÍMICA NUCLEAR	Investigación del sistema circonio 95 - niobio 95 con complejantes orgánicos de circonio

TABLA IV.2. INSTALACIONES RADIATIVAS NO RELEVANTES (Continuación)

INSTALACIÓN	TAREAS DESARROLLADAS
FÍSICA DEL SÓLIDO	Difracción de rayos x para investigación en sustancias orgánicas e inorgánicas
FLUORESCENCIA DE RAYOS X	Análisis de muestras por fluorescencia de rayos x
LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE UO <sub>2</sub>	Caracterización fisicoquímica de sustancias que intervienen en la fabricación de elementos combustibles nucleares en base a óxidos de uranio
NÚCLEOS CERÁMICOS	Estudio de sinterabilidad de polvos de UO <sub>2</sub> y fabricación, a escala laboratorio, de pastillas de UO <sub>2</sub> para su caracterización
DAÑOS POR RADIACIÓN	Ensayos mecánicos de probetas irradiadas en los Reactores RA-1 y RA-3
DIFRACCIÓN DE RAYOS	Estudio de materiales a través de difracción de rayos x
INEND	Prácticas de ensayos no destructivos empleando rayos x y fuentes selladas de gammagrafía industrial
DIFUSIÓN CON RADIOTRAZADORES	Estudios de difusión en probetas metálicas
HACES IÓNICOS	Investigación con aceleradores de partículas
ÓXIDOS MIXTOS	Estudios de sinterabilidad de polvos de UO <sub>2</sub>
IRRADIADOR MÓVIL	Fuente móvil para la esterilización de productos y alimentos
DOSIMETRÍA EXTERNA	Empleo de fuentes para calibración de dosímetros
APLICACIONES AGROPECUARIAS	Empleo de radionucleidos en agronomía y actividades pecuarias
CELDA CALIENTE	Desarme y reparación de fuentes radiactivas de alta actividad
HORMONAS MARCADAS	Fraccionamiento y preparación de productos para radioinmunoanálisis y marcación de moléculas
RADIOMETABOLISMO	Investigación del comportamiento dinámico de radionucleidos en animales vivos

## IV.7.II. CONDICIONES PARA LA OPERACIÓN

En el Capítulo I se describe la filosofía general de la seguridad radiológica y nuclear, así como la estructura y funcionamiento de la Autoridad Regulatoria, abarcando todas las instalaciones de la actividad nuclear en Argentina, así como la creación del ENREN y las modificaciones ocurridas por la reestructuración de la CNEA. En el presente punto se agregan algunos aspectos específicos que se refieren a las Instalaciones Radiactivas Relevantes, definidas en la norma AR.0.0.1 [1].

### IV.7.III. PLANTEL DE OPERACIÓN

De acuerdo con lo requerido por la norma AR 0.11.1 [2], cada instalación radiactiva relevante posee un plantel de operación, según un organigrama presentado en su oportunidad por la Entidad Responsable a la Autoridad Regulatoria. Dicha autoridad determina, en cada caso, las funciones para cuyo desempeño el personal debe poseer una Autorización Específica.

Para la obtención de una Autorización Específica se requiere que el solicitante cuente con una licencia para ejercer la función, expedida por la Autoridad Regulatoria, con la cual se le reconoce su capacidad técnico-científica. Desde el año próximo dicha licencia será extendida por el ENREN. Además, se requiere un certificado de aptitud psicofísica de acuerdo con la norma AR 0.11.2 [3]. Las autorizaciones específicas tienen una validez máxima de 2 años y deben ser renovadas.

La licencia de operación de la instalación relevante establece, además, el **plantel mínimo de operación**, sin el cual la instalación no puede operar.

#### IV.7.II.2. DOCUMENTACIÓN MANDATORIA

---

La documentación mandatoria requerida por la Autoridad Regulatoria, para la autorización de una instalación radiactiva relevante está establecida en las normas AR 4.7.1 [4], AR 5.7.1 [5] y AR 6.7.1 [6]; tal documentación debe ser actualizada periódicamente por la Entidad Responsable. Las normas citadas indican el cronograma de presentación de los distintos documentos.

A modo de ejemplo se citan los siguientes documentos:

- Informe de seguridad; contiene la información necesaria para demostrar que la operación de la instalación se efectuará en forma segura.
- Manual de operaciones; contiene la descripción y procedimientos de las operaciones para situación normal.
- Código de práctica; contiene el organigrama de operación, la delimitación de las áreas (controlada o supervisada), así como los procedimientos de ingreso, permanencia y egreso del personal.
- Plan de monitoreo; contiene la metodología y frecuencia para realizar el monitoreo individual y de áreas.
- Procedimientos para emergencias.
- Programa de entrenamiento del personal
- Programa de puesta en marcha

#### IV.7.II.3. REGISTROS

---

La Autoridad Regulatoria requiere documentación adicional que permita, por una parte, tener evidencia objetiva de que la operación de cada instalación se efectúa dentro de las condiciones de operación autorizadas y, por la otra, evaluar eventuales desviaciones de la operación normal. Se exigen, por ejemplo, registros de operación, de descargas de material radiactivo al ambiente, de revisiones o modificaciones en los procedimientos de operación y de las dosis recibidas por el personal.

#### **IV.7.II.4. CAPACITACIÓN DEL PERSONAL**

---

Los programas de capacitación son presentados a la Autoridad Regulatoria para su evaluación, junto con el organigrama de operación de la instalación; los mismos, a partir de 1995 se presentarán al ENREN. Ello constituye uno de los requisitos para poder obtener la licencia de operación. Dichos programas incluyen consideraciones sobre el contenido y la duración de los cursos. Además, la Autoridad Regulatoria, en virtud de la norma AR 0.11.1, requiere que los trabajadores realicen un entrenamiento adecuado a la función a cumplir, el cual deberá ser certificado por personal calificado bajo cuya supervisión se haya efectuado. En el futuro, el ENREN continuará con tales requerimientos.

#### **IV.7.II.5. COMUNICACIÓN DE EVENTOS RELEVANTES**

---

La Entidad Responsable debe informar a la Autoridad Regulatoria, tan pronto como sea posible, la ocurrencia de un evento relevante y presentar un informe analítico en el plazo y con la modalidad establecida en la Licencia de Operación de la instalación. Desde el próximo año, la información de este tipo deberá ser presentada al ENREN.

#### **IV.7.II.6. INSPECCIONES REGULATORIAS**

---

La Autoridad Regulatoria efectúa inspecciones a todas las instalaciones radiactivas. El objetivo es verificar el grado de cumplimiento de las condiciones establecidas en las respectivas licencias o autorizaciones de operación. En caso que corresponda, se formulan recomendaciones o se emiten requerimientos específicos. El ENREN continuará con esta metodología.

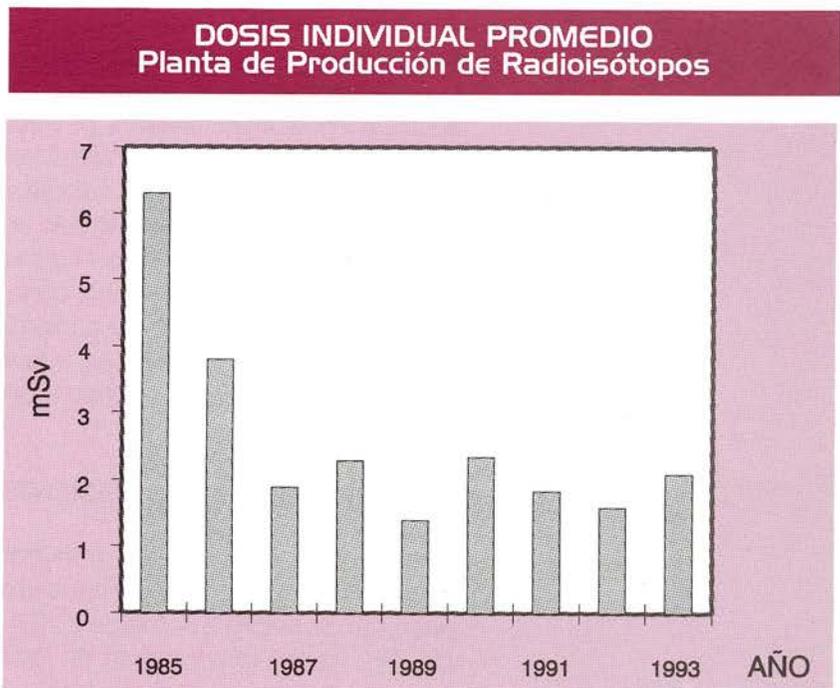
### **IV.7.I2. PROTECCIÓN DE LOS TRABAJADORES, DEL PÚBLICO Y DEL AMBIENTE**

---

El riesgo radiológico de los trabajadores en las instalaciones radiactivas mencionadas está asociado a la irradiación debida a campos externos de radiación y a la contaminación interna. En cada instalación, el predominio relativo de esas vías de exposición depende de las características de la planta, del tipo de material radiactivo involucrado y de los procesos que se llevan a cabo en la misma. A fin de implementar la protección ocupacional en las áreas de trabajo, éstas se clasifican, según su riesgo radiológico, en áreas controladas y áreas supervisadas.

Como resultado de la efectiva protección radiológica ocupacional, el promedio de la dosis efectiva anual de los trabajadores involucrados en las instalaciones referidas es aproximadamente 3 mSv, es decir 6% del límite estipulado para los trabajadores. A modo de ejemplo, la **Figura IV.II.** muestra la evolución del promedio de la dosis anual incurrida por los trabajadores de la Planta de Producción de Radioisótopos.

La protección radiológica del público y del ambiente asociada al funcionamiento de las instalaciones radiactivas, se basa en la gestión de los residuos radiactivos en ellas generados y en el control de las descargas al ambiente provenientes de esas instalaciones.



**Figura IV.II.**

## **IV.8. TRANSPORTE DE MATERIALES RADIATIVOS**

El transporte de materiales radiactivos está regulado con criterios de seguridad mucho más restrictivos que los aplicados a los materiales peligrosos convencionales, la mayoría de los cuales presentan riesgos más severos que los radiactivos.

Desde hace aproximadamente 45 años se transporta material radiactivo a través del mundo y gracias a los estrictos requisitos de las normas aplicables, se ha alcanzado un altísimo nivel de seguridad en esa actividad.

## IV.8.I. NORMAS Y REGLAMENTOS

La Resolución del Directorio de la CNEA N° 169/93 del 12 de octubre de 1993 establece que todo transporte de materiales radiactivos en el país deberá efectuarse de acuerdo a lo estipulado en la Edición de 1985 (enmendada en 1990) del "Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos" del OIEA [7]. La misma resolución designa a la Gerencia Licenciamiento, sector integrante de la Autoridad Regulatoria, como ente fiscalizador del cumplimiento de dicho reglamento. Debido a lo estipulado por el Decreto 1540/94, se transfieren al ENREN estas funciones fiscalizadoras.

Existen, además, reglamentaciones nacionales e internacionales que regulan el transporte de materiales peligrosos por vía terrestre, aérea y acuática y que, en lo relativo a los materiales radiactivos, coinciden con el Reglamento del OIEA [7]. Para el transporte por carretera y ferrocarril se aplican reglamentaciones establecidas por la Secretaría de Transporte [8], dependiente del Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos de la Nación; para el transporte marítimo-fluvial y aéreo, Argentina, al igual que la mayor parte de los países, ha adoptado las reglamentaciones de la Organización Marítima Internacional (en inglés, IMO) [9], de la Organización de Aviación Civil Internacional (en inglés, ICAO) y de la Asociación del Transporte Aéreo Internacional (en inglés, IATA) [10], respectivamente.

### FUNDAMENTO DEL REGLAMENTO DEL OIEA

Los criterios de seguridad reflejados en el "Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos" del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) [7] y sus documentos anexos [11,12], tienen el consenso de todas las organizaciones internacionales y nacionales dedicadas a regular el transporte terrestre, aéreo y acuático.

El Reglamento del OIEA [7] provee un adecuado nivel de seguridad a las personas, a los bienes y al ambiente durante el transporte normal de material radiactivo, así como en caso de eventuales accidentes. Para alcanzar el nivel de seguridad deseado requiere, fundamentalmente, que el bulto a transportar posea la seguridad intrínseca necesaria, (también denominada seguridad por diseño), minimizando así los requisitos operativos y administrativos pertinentes. Cabe aclarar que por bulto se entiende el embalaje conjuntamente con su contenido radiactivo, tal como se presenta para el transporte.

Para proteger a los trabajadores y al público durante el transporte normal, el Reglamento del OIEA establece requisitos que, esencialmente, limitan la tasa de dosis en el entorno de los bultos, y la contaminación en la superficie externa de estos.

Respecto a la protección contra eventuales accidentes, la filosofía del Reglamento del OIEA es: cuanto mayor es la capacidad resistente del embalaje frente a condiciones accidentales, mayor es el contenido radiactivo autorizado a transportarse en el mismo.

Dicha filosofía se refleja en requisitos constituidos por los criterios de aceptación de los resultados de ensayos mecánicos, térmicos e hidráulicos que demuestran la aptitud que tienen los bultos para soportar el maltrato habitual durante el transporte normal y las posibles situaciones accidentales severas. El Reglamento del OIEA contempla cuatro tipos de bultos, que en orden creciente de capacidad resistente, se indican en la **Tabla IV.3.**

**TABLA IV.3. TIPOS DE BULTOS PARA EL TRANSPORTE DE MATERIAL RADIATIVO**

BULTOS DE TRANSPORTE	
TIPO	CARACTERÍSTICAS
EXCEPTUADO	Cantidad de actividad muy limitada.  Exento de la mayoría de los requisitos de diseño y uso del Reglamento del OIEA.
INDUSTRIAL	Contiene sustancias de baja actividad específica, u objetos contaminados en la superficie.  Requisitos del Reglamento del OIEA relativos al maltrato normal durante el transporte.
TIPO A	Cantidad de actividad limitada.  Requisitos y ensayos encaminados a demostrar que se mantengan íntegros cuando se los somete al tipo de maltrato considerado normal durante el transporte.  En accidentes destructivos, no se espera que de ellos deriven consecuencias radiológicas significativas.
TIPO B	Contiene cantidades importantes de material radiactivo (el que corresponda a la capacidad de cada modelo, según su diseño).  Requisitos del Reglamento del OIEA que garantizan un adecuado nivel de seguridad durante el maltrato normal y accidentes severos de transporte.

#### IV.8.2. TRANSPORTE DE MATERIALES RADIATIVOS EN ARGENTINA

Se realizan unas 120 expediciones anuales relacionadas con el ciclo de combustible nuclear. El transporte se limita, prácticamente, a minerales y concentrados de uranio (*yellow cake*), óxidos de uranio ( $UO_2$  y  $U_3O_8$ ), elementos combustibles nuevos para las centrales nucleares y algunos residuos de baja actividad.

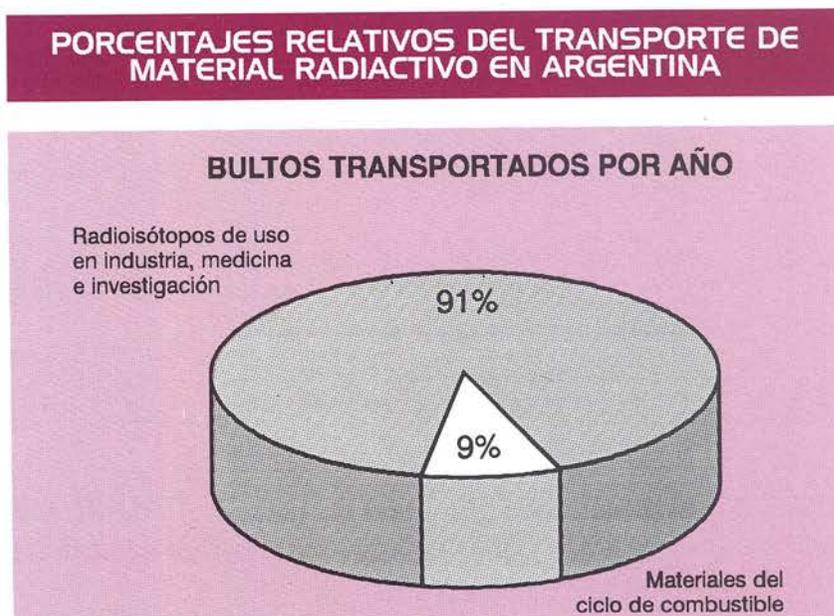
Estas expediciones son transportadas por carretera, en bultos industriales para materiales de baja actividad.

En aproximadamente 22 000 expediciones por año, una gran variedad de productos radiofarmacéuticos son transportados en bultos Tipo A, destinados a 1400 usuarios distribuidos en todo el país; el transporte se realiza por vías aérea y terrestre.

La mayor parte de las expediciones de materiales radiactivos utilizados en la industria y en telegammaterapia está constituida por cápsulas selladas de muy variada actividad. Dichas cápsulas, clasificadas por el Reglamento del OIEA como **material radiactivo en forma especial**, contienen entre los radioisótopos más significativos: iridio 192, cesio 137 y cobalto 60. El transporte de tales materiales se lleva a cabo, fundamentalmente, en bultos Tipo B por vías terrestre y marítima.

Los residuos radiactivos de baja actividad están constituidos, en general, por desechos provenientes de diversas instalaciones, laboratorios y centros médicos, conteniendo, principalmente, guantes, ropa de protección y bolsas de plástico. Dichos desechos son de muy baja actividad específica y el Reglamento del OIEA no prescribe requisitos severos para el diseño de su embalaje. Habitualmente se los transporta por vía terrestre, en recipientes metálicos que cumplen los requisitos establecidos para bultos Industriales.

En la **Figura IV.12.** se muestran los porcentajes relativos del transporte de material radiactivo en Argentina.



**Figura IV.12.**

### IV.8.3. LICENCIAMIENTO DE BULTOS, CÁPSULAS Y EXPEDICIONES

La Autoridad Regulatoria licencia los modelos de bultos Tipo B, los modelos de bultos que transportan sustancias fisionables, los modelos de materiales radiactivos en forma especial (cápsulas selladas), ciertas expediciones, y los transportes por arreglos especiales, tarea que efectuará el ENREN a partir del 1° de enero de 1995.

#### IV 8.3.I. LICENCIAMIENTO DE BULTOS Y DE MATERIALES RADIATIVOS EN FORMA ESPECIAL

El proceso de licenciamiento implica una interacción continua entre el solicitante de la licencia y la Autoridad Regulatoria -o el

##### BULTO GURI 100 Ensayo de caída libre desde 9 m sobre superficie plana



Figura IV.13.

ENREN en su momento. El solicitante debe presentar el diseño, las técnicas analíticas utilizadas para el cálculo, los ensayos propuestos y los métodos para evaluar los criterios de aceptación de los resultados de dichos ensayos. La Autoridad Regulatoria, por su parte, lleva a cabo una evaluación independiente, realiza inspecciones durante la fabricación y hace un seguimiento de los ensayos; también requiere un informe final de seguridad, un programa de fabricación, un programa de garantía de calidad y los procedimientos para los ensayos preoperacionales. En la última etapa del licenciamiento de bultos se requiere un manual de operación, un manual de inspección y mantenimiento, y los procedimientos para casos de emergencia durante el transporte. En las Figuras IV.13. y IV.14. se muestran fotografías que ilustran el desarrollo de los ensayos mecánicos de caída libre de los bultos.

En aquellos casos de elevada complejidad tecnológica, la Autoridad Regulatoria suele recurrir a consultores externos, de acreditada competencia técnica, para que efectúen una verificación independiente del diseño. Los servicios de consultoría se obtienen a través de convenios o contratos con organismos preferentemente oficiales, siendo el Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC), dependiente del CONICET, uno de ellos.

Finalmente, en base al resultado de las evaluaciones del diseño, de los ensayos, de la documentación presentada y de las pruebas preoperacionales, la Autoridad Regulatoria emite, si corresponde, un Certificado de Aprobación. A partir del año próximo, corresponderá al ENREN extender dicho Certificado de Aprobación.

#### BULTO GURI 100

Ensayo de caída libre desde 1 m sobre una barra

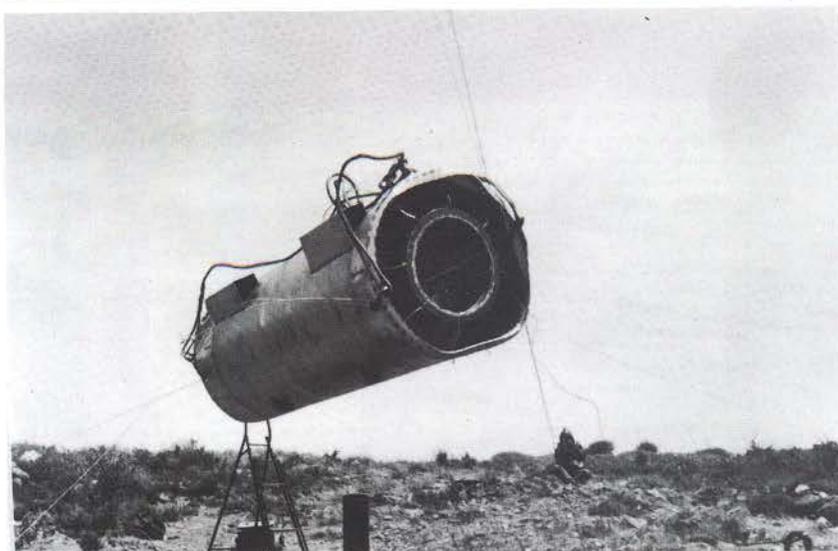


Figura IV.14.

En las **Tablas IV.4. y IV.5.** se presenta un resumen de las principales características de los bultos de transporte y materiales radiactivos en forma especial licenciados por la Autoridad Regulatoria.

**TABLA IV.4. BULTOS DE TRANSPORTE LICENCIADOS EN ARGENTINA**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN	BULTO DE TRANSPORTE	
CÓDIGO DE LA AUTORIDAD REGULATORIA	CONTENIDO RADIATIVO	TIPO DE BULTO
RA/0033/B(U)F	Elementos combustibles nuevos para reactores de investigación.	GURI 100, diseñado y fabricado por INVAP SE. Bulto Tipo B(U)F
RA/0025/AF	Uranio 235 en forma metálica.	Bulto Tipo A para sustancias fisionables.
RA/0028/AF	Uranio 235 en forma metálica.	Bulto Tipo A para sustancias fisionables.
RA/0068/AF-85	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> con uranio, enriquecido al 20% en uranio 235.	Bulto Tipo A para sustancias fisionables.
ACTUALMENTE EN LA ETAPA FINAL DE LICENCIAMIENTO	Cobalto 60 en cápsulas selladas.	GURI 01, diseñado y fabricado por INVAP SE. Bulto Tipo B(U).
ACTUALMENTE EN LA ETAPA INICIAL DE LICENCIAMIENTO	Cobalto 60 en cápsulas selladas para trasvases de equipos de telegammaterapia	CONTRAS, diseñado por la empresa INVAP SE. Bulto Tipo B(U).

**TABLA IV.5. MATERIAL RADIATIVO EN FORMA ESPECIAL LICENCIADO EN ARGENTINA**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN	MATERIAL RADIATIVO EN FORMA ESPECIAL	
LICENCIA	CONTENIDO RADIATIVO	IDENTIFICACIÓN
RA/0027/S	400 TBq de cobalto 60	FSM 60-02. Diseñada y fabricada por CNEA-Cobalto 60.
RA/0030/S	520 TBq de cobalto 60	FIS 60-04. Diseñada y fabricada por CNEA-Cobalto 60.
RA/0032/S	520 TBq de cobalto 60	FIS 60-05. Diseñada y fabricada por CNEA-Cobalto 60.
RA/0040/S	4,4 TBq de iridio 192	RM-10 (FIS). Diseñada y fabricada por Polytec para utilización en el área de gammagrafía industrial.
RA/0042/S	740 TBq de cobalto 60	FIS 60-03. Diseñada y fabricada por CNEA-Cobalto 60.
RA/0043/S	400 TBq de cobalto 60	FSM 60-03. Diseñada y fabricada por CNEA-Cobalto 60.
RA/0045/S	925 TBq de cobalto 60	AC-345. Utilizado para el transporte a granel de cobalto 60.
RA/0064/S	740 TBq de cobalto 60	COB-9-A (FIS). Diseñada y fabricada por CNEA-Cobalto 60.

**FMS:** fuente médica sellada para uso en telegammaterapia.

**FIS:** fuente sellada para uso industrial.

**CNEA-Cobalto 60:** Subprograma Proyecto Cobalto 60, CNEA.

### **IV.8.3.2. LICENCIAMIENTO DE EXPEDICIONES Y "ARREGLOS ESPECIALES"**

---

Cuando no se puede cumplir con todos los requerimientos establecidos por el Reglamento del OIEA [7], el mismo requiere que el transporte se efectúe en virtud de arreglos especiales. En esos casos, la Autoridad Regulatoria establece disposiciones, denominadas medidas alternativas, de manera que se garantice un grado global de seguridad durante el transporte y el almacenamiento en tránsito, equivalente -como mínimo- al que se alcanzaría si se cumpliera con todos los requisitos reglamentarios. El ENREN hará lo propio en este sentido.

Los casos que más frecuentemente obligan a recurrir a transportes por arreglos especiales son aquellos en los cuales el remitente debe transportar un determinado material radiactivo por única vez y no posee un modelo de bulto Tipo B(U) aprobado para ese material.

Para esas ocasiones, se toman medidas alternativas que contemplan el aumento de la aptitud funcional del bulto (por ejemplo, transportándolo dentro de un sobreembalaje, dentro de un gran contenedor o en un vehículo cerrado) y se aplican medidas operativas para disminuir la probabilidad de ocurrencia de accidentes, como por ejemplo, limitar la velocidad de circulación del vehículo o acompañar el transporte con un vehículo escolta.

## REFERENCIAS

- [1] Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires (Argentina). Autoridad Regulatoria. "Licenciamiento de instalaciones relevantes". Buenos Aires, CNEA, 1992. NORMA AR 0.0.1.
- [2] Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires (Argentina). Autoridad Regulatoria. "Autorizaciones específicas del personal de instalaciones relevantes". Buenos Aires, CNEA, 1992. NORMA AR 0.11.1.
- [3] Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires (Argentina). Autoridad Regulatoria. "Requerimientos de aptitud psicofísica para autorizaciones específicas". Buenos Aires, CNEA, 1992. NORMA AR 0.11.2.
- [4] Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires (Argentina). Autoridad Regulatoria. "Documentación a ser presentada a la autoridad licenciante hasta la puesta en operación de un reactor de investigación de Clase II o de Clase IV". Buenos Aires, CNEA, 1992. NORMA AR 4.7.1.
- [5] Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires (Argentina). Autoridad Regulatoria. "Documentación a ser presentada a la autoridad licenciante hasta la puesta en operación de un acelerador relevante". Buenos Aires, CNEA, 1992. NORMA AR 5.7.1.
- [6] Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires (Argentina). Autoridad Regulatoria. "Documentación a ser presentada a la autoridad licenciante hasta la puesta en operación de una planta industrial de irradiación". Buenos Aires, CNEA, 1992. NORMA AR 6.7.1.
- [7] Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena (Austria). "Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos. Ed.1985 (enmendada en 1990)". Colección Seguridad N° 6. OIEA, Viena (1991). 121p.
- [8] Ministerio de Obras y Servicios Públicos, Buenos Aires (Argentina). "Transporte de materiales peligrosos. Reglamento". Secretaría de Transporte, Buenos Aires (1988). 396p.
- [9] Organización Marítima Internacional, Londres (UK). "Código marítimo internacional de mercancías peligrosas". 5v. Madrid, Artes Gráficas (1986).
- [10] Asociación del Transporte Aéreo Internacional, Montreal (Canadá). "Reglamentación sobre mercancías peligrosas". Ed.33. IATA, Montreal (1992).
- [11] Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena (Austria). "Manual explicativo para la aplicación del Reglamento del OIEA para el transporte seguro de materiales radiactivos (edición de 1985). 2da. ed. (enmendada en 1990)". Colección Seguridad N° 7. OIEA, Viena (1991). 134p.

[12] Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena (Austria). "Manual de consulta para la aplicación del Reglamento del OIEA para el transporte seguro de materiales radiactivos (edición de 1985). Enmendada en 1990. 3ra. edición". Colección Seguridad N° 37. OIEA, Viena (1991). 231p.