

# 6

## capítulo

# Vigilancia radiológica ocupacional y del público

Los trabajos de investigación realizados en las décadas del '50 y del '60 hicieron posible obtener el conocimiento y la experiencia necesaria para definir una política de protección radiológica para los trabajadores, el público y el ambiente, mucho antes de que se utilizaran en el país cantidades apreciables de material radiactivo. Los criterios que sustentan esa política han seguido la evolución de los conocimientos en materia de seguridad radiológica y, en particular, las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (en inglés, ICRP).

## Criterios básicos de seguridad radiológica

Los criterios básicos en que se apoya la seguridad radiológica establecen que las prácticas que utilicen radiaciones ionizantes deben estar justificadas, que la protección radiológica debe ser optimizada, que deben respetarse los límites y restricciones de dosis establecidos y que la probabilidad de accidentes -exposiciones potenciales- debe ser mínima. Estos criterios se presentan en las secciones siguientes.

### Justificación de la práctica

El principio de justificación establece que toda tarea que implique o pueda implicar exposición de personas a las radiaciones ionizantes, sólo estará justificada si tal exposición origina un beneficio neto positivo para la so-

ciudad. El principio se aplica no solo en el caso de las nuevas prácticas, sino también en aquellas prácticas existentes que deban ser revisadas a la luz de nueva información que se pudiera disponer sobre ellas como consecuencia del continuo progreso científico-tecnológico.

La Autoridad Regulatoria no autoriza ninguna práctica que implique o pueda implicar exposición a las radiaciones ionizantes, salvo que se demuestre que la misma origina un beneficio neto positivo.

## **Optimización de la protección**

El principio de optimización establece que la exposición de personas debido a una práctica- justificada en el sentido del principio anterior- debe mantenerse tan baja como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta factores sociales y económicos. Se considera que un sistema de protección está optimizado, cuando el esfuerzo económico para reducir - más aún- la dosis colectiva, está balanceado con la reducción del detrimento que se lograría con dicho sistema.

También se requiere, para demostrar que un sistema está optimizado, que se detallen las opciones técnicamente disponibles en cada caso, indicando el costo de la instalación y de su operación durante la vida útil de ésta y la reducción de la dosis colectiva que se lograría con cada opción.

La Autoridad Regulatoria ha adoptado, para fines de optimización, un valor del coeficiente de proporcionalidad entre el costo social y la unidad de dosis colectiva de 10 000 U\$S/sievert hombre.

Uno de los aspectos importantes de la optimización es la selección de restricciones de dosis, valores de dosis individual y dosis colectiva relacionados con la fuente de radiación, que se utilizan para limitar las opciones consideradas en el proceso de optimización de la protección. Por lo tanto, las restricciones de dosis se aplican en la planificación de la protección radiológica, restringiendo el proceso de optimización en todas las situaciones donde tenga sentido utilizar este proceso.

Salvo que la Autoridad Regulatoria lo solicite expresamente, no es necesario demostrar que los sistemas están optimizados, cuando el diseño de los sistemas de protección radiológica asegure que, en condiciones normales de operación, ningún trabajador pueda recibir una dosis efectiva superior a 5 milisievert en un año, que ningún miembro del público pueda recibir una dosis efectiva superior a 100 microsievert en un año, y que la dosis efectiva colectiva debida a un año de operación es inferior a 10 sievert hombre.

## Límites y restricciones de dosis

La exposición de los individuos que resulte de la combinación de todas las prácticas debe estar sujeta a límites de dosis o a algún mecanismo de control del riesgo a la salud, en el caso de las exposiciones potenciales. La finalidad de tales controles es asegurar que ningún individuo esté expuesto a riesgos de irradiación considerados inaceptables, en circunstancias normales. Esto asegura que los efectos determinísticos serán evitados y que la probabilidad de sufrir efectos estocásticos será suficientemente baja.

Para una instalación en particular, y por los motivos citados, es necesario restringir las dosis en los individuos más expuestos con la finalidad de dejar un adecuado margen para la contribución de otras fuentes de radiación. Por lo tanto, los límites no deben interpretarse como objetivos a alcanzar.

### Límites y restricciones de dosis para los trabajadores

---

Los límites de dosis para la exposición ocupacional son los siguientes:

El límite de dosis efectiva es 20 milisievert en un año. Este valor debe ser considerado como el promedio en 5 años consecutivos (100 milisievert en 5 años), no pudiendo excederse 50 milisievert en un único año.

El límite de dosis equivalente es 150 milisievert en un año para el cristalino del ojo y 500 milisievert en un año para la piel.

Para verificar el cumplimiento de los límites de dosis citados se suma la dosis equivalente efectiva anual debida a la exposición externa y la dosis equivalente efectiva comprometida debida a la incorporación dentro del cuerpo de material radiactivo en ese año.

La Autoridad Regulatoria puede establecer en la autorización o licencia de operación, restricciones de dosis para la exposición ocupacional, las cuales actúan restringiendo el proceso de optimización.

### Límites y restricciones de dosis para el público

---

El límite de dosis para el público es 1 milisievert en un año, y se aplica en el grupo crítico; es decir, a la dosis promedio en un grupo de personas vecino a la instalación nuclear, homogéneo en cuanto a los parámetros que influyen en las dosis recibidas y representativo de los individuos más expuestos.

El límite de dosis se aplica a la dosis efectiva comprometida debida a todas las instalaciones y prácticas -cercanas y lejanas- cuando se haya alcanzado un equilibrio en la acumulación de materiales radiactivos en el ambiente.

Para tener en cuenta la contribución de las actividades desarrolladas en el ámbito regional y global en la dosis recibida por el grupo crítico, y para dejar adecuado margen para nuevos usos que surjan en el futuro, la Autoridad Regulatoria ha establecido restricciones a la dosis debida a una instalación en particular, las cuales actúan restringiendo el proceso de optimización:

- ◆ La dosis efectiva comprometida en el grupo crítico debida a la liberación de efluentes radiactivos no debe exceder 0,3 milisievert en un año.
- ◆ La dosis efectiva colectiva debida a la liberación de efluentes, en el caso de la operación de reactores de investigación, no debe exceder 5 sievert hombre por gigawatt año de energía térmica generada.
- ◆ La dosis efectiva colectiva debida a la liberación de efluentes, en el caso de la operación de centrales nucleares, no debe exceder 15 sievert hombre por gigawatt año de energía eléctrica generada.
- ◆ La dosis efectiva colectiva debida a la liberación de efluentes en cualquier etapa del ciclo de combustible, no debe exceder 10 sievert hombre por gigawatt año de energía eléctrica que se generaría con la cantidad de combustible producida en esa etapa.
- ◆ La dosis efectiva colectiva debida a la liberación de efluentes, en el caso de instalaciones radiactivas relevantes, no debe exceder 1,5 sievert hombre por terabecquerel año del valor de la integral temporal del inventario radiactivo.

Para cumplir con estas restricciones se limitan las descargas al ambiente, autorizadas por la Autoridad Regulatoria.

## Descargas al ambiente

Sólo una muy pequeña fracción de la actividad contenida en una instalación nuclear es liberada al ambiente con los efluentes gaseosos y líquidos. Esa pequeña fracción es establecida por la Autoridad Regulatoria, fijando en la licencia de operación de cada instalación los límites autorizados de descarga. Estos límites son anuales y están establecidos para los radionucleidos más representativos de la instalación.

Cuando existe la probabilidad que sean varios los radionucleidos descargados por una instalación al ambiente, se considera que se cumple con los límites autorizados si se verifica la siguiente expresión:

$$\sum A_i / K_i \leq 1$$

donde  $A_i$  es la actividad del nucleido "i" liberada al ambiente en el período considerado, y  $K_i$  es el límite autorizado de descarga para el nucleido "i".

Cumplir con los límites autorizados de descarga implica que la dosis en el grupo crítico no excederá las restricciones de dosis establecidas para cada fuente de exposición en particular. El cumplimiento del límite es una

condición necesaria pero no suficiente; además, se requiere reducir las dosis tanto como sea razonable.

Para la retención de efluentes radiactivos, la Autoridad Regulatoria requiere la aplicación de un proceso de optimización para seleccionar el sistema de tratamiento de los mismos. Se deben detallar las distintas opciones consideradas para el tratamiento, los costos y la reducción de la dosis efectiva colectiva comprometida lograda en cada caso.

Como consecuencia de la aplicación de la optimización, un sistema de retención que reducirá por un factor 100 las descargas de carbono 14, será instalado en la Central Nuclear Atucha II.

En las secciones siguientes se presentan: las dosis individuales recibidas por los trabajadores de instalaciones relevantes, las descargas de material radiactivo debidas a la operación de dichas instalaciones, las dosis en la población y los resultados de monitoreo ambiental que el ENREN realiza en los alrededores de instalaciones nucleares y en zonas fuera del ámbito de dichas instalaciones.

## Dosis ocupacionales

---

La evaluación de las dosis ocupacionales y dosis en la población brinda importantes indicadores de la evolución del comportamiento de los sistemas de protección radiológica en las diversas instalaciones y prácticas.

El análisis de las dosis permite conocer tendencias, identificar las desfavorables y las consecuentes correcciones, y realizar comparaciones entre diferentes prácticas.

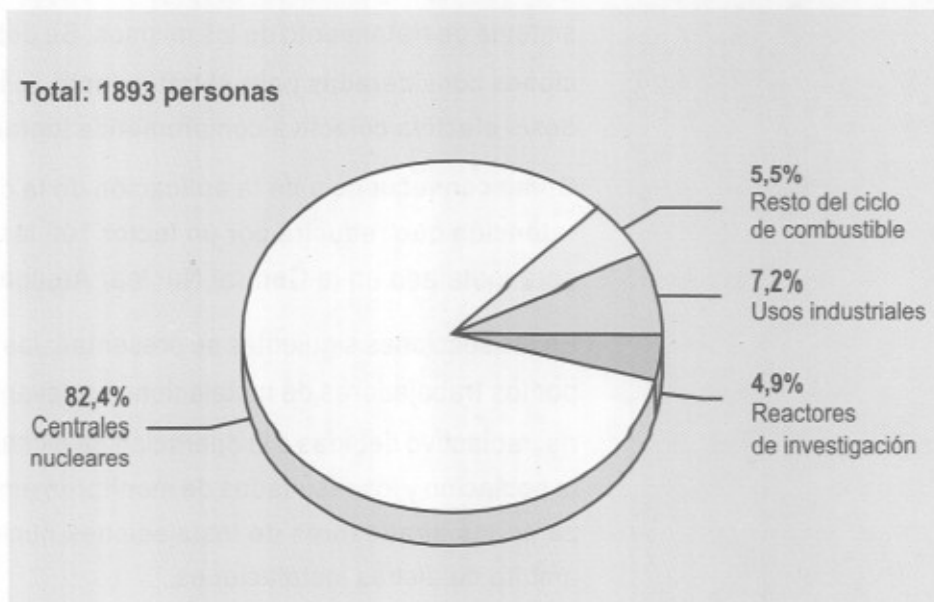
El ENREN tiene una base de datos con las dosis de los trabajadores de las instalaciones relevantes, registrados desde el año 1967. En la misma se encuentra la información identificatoria de 10 000 trabajadores, y las dosis de todos los trabajadores de plantel de las instalaciones relevantes y menores que pertenecen a la CNEA, y del personal contratado por las centrales nucleares para trabajar en las paradas programadas para mantenimiento preventivo y correctivo. La base de datos con las dosis ocupacionales se actualiza periódicamente, y está previsto ingresar en un futuro próximo las dosis de los trabajadores de instalaciones en las que se realizan aplicaciones médicas e industriales.

En este informe se presentan las dosis de los trabajadores de las instalaciones relevantes que por Licencia de operación deben informar las mismas al ENREN -centrales nucleares, reactores de investigación, aplicaciones industriales e instalaciones y laboratorios asociados al ciclo de combustible- y las dosis del personal del ENREN.

La **Figura 1** muestra la distribución de los trabajadores según correspondan a centrales nucleares, reactores de investigación, usos industriales e instalaciones y laboratorios asociados al ciclo de combustible nuclear.

**Figura 1**

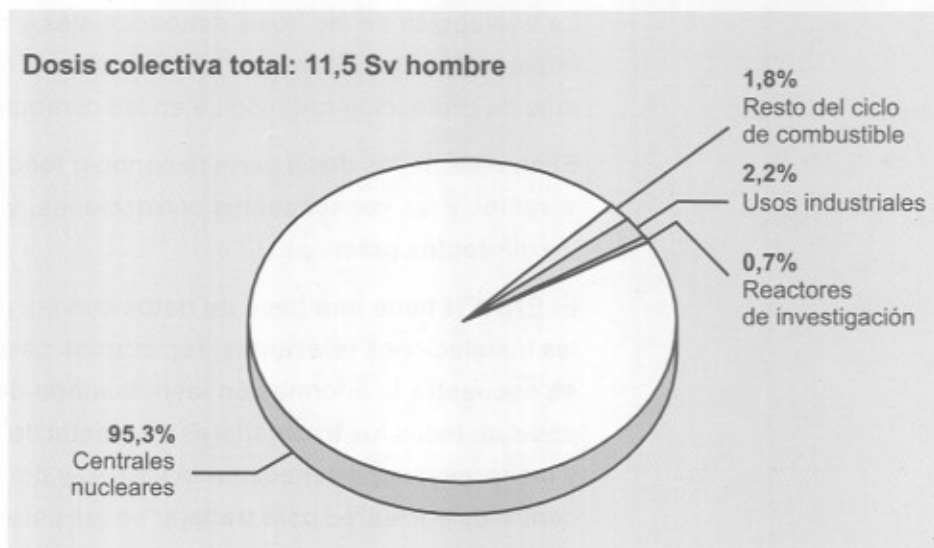
**Distribución de trabajadores controlados en instalaciones relevantes**



La **Figura 2** presenta la correspondiente distribución de la dosis colectiva total.

**Figura 2**

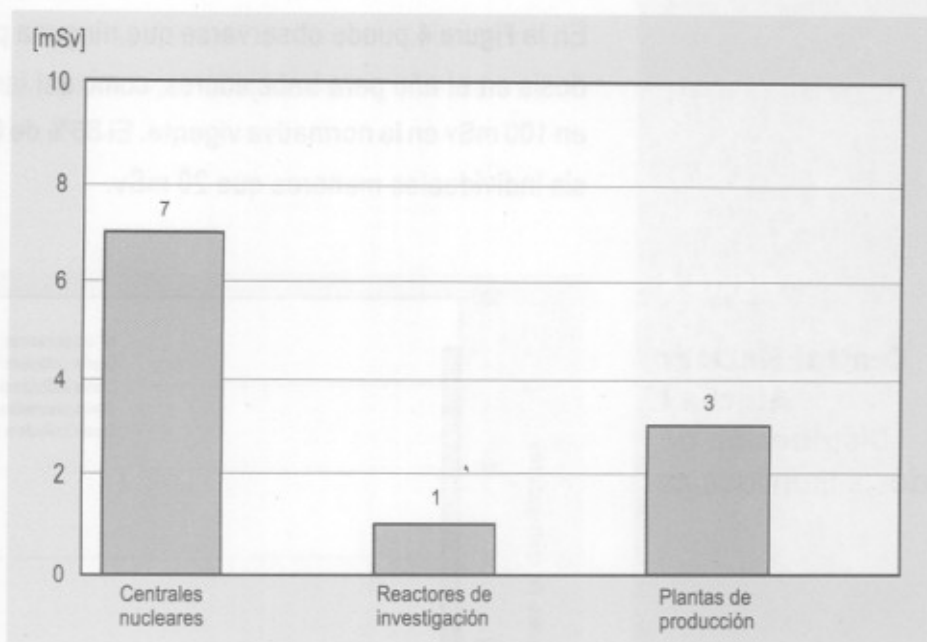
**Distribución de dosis colectiva en instalaciones relevantes**



En la **Figura 3** se pueden comparar las dosis individuales promedio de los trabajadores de las centrales nucleares, reactores de investigación y plantas de producción de radioisótopos, para el año 1996. Los resultados son consistentes con las características propias de los distintos tipos de instalaciones.

Figura 3

## Dosis promedio individual



Las dosis informadas por las instalaciones corresponden a mediciones individuales de exposición a la radiación externa, realizadas con dosímetros termoluminiscentes y estimaciones de dosis debidas a contaminación interna a partir del análisis de muestras de orina y mediciones realizadas en contador de cuerpo entero. Las dosis menores que los límites de detección, 0,1 mSv para irradiación externa y 0,01 mSv para contaminación interna, fueron considerados cero.

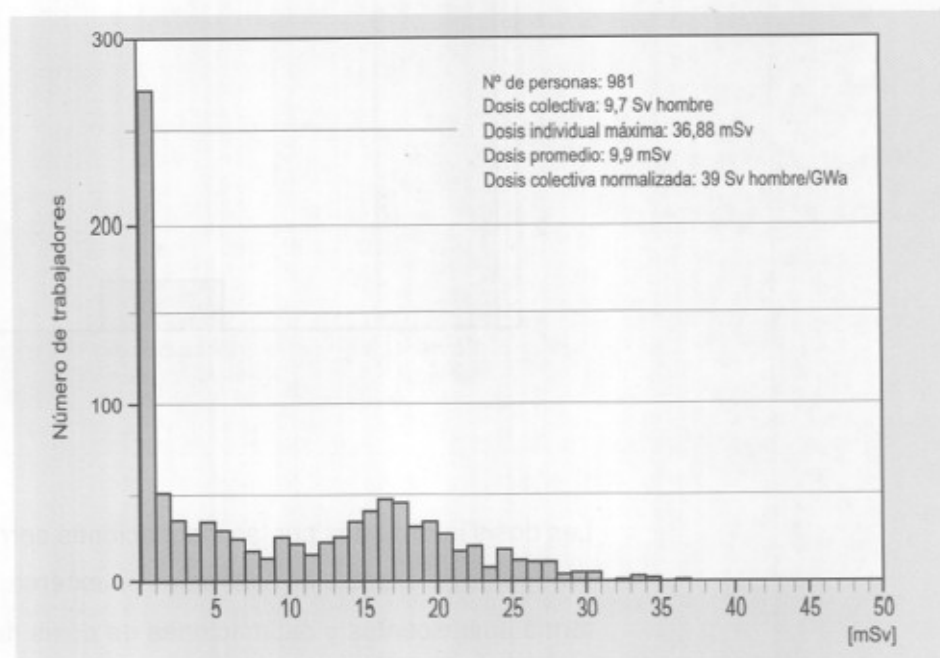
## Centrales nucleares

Las Figuras 4 y 5 presentan las distribuciones de dosis individuales recibidas durante el año 1996 en las centrales nucleares Atucha I (CNA I) y Embalse (CNE) respectivamente.

La CNA I, al igual que otras centrales diseñadas en la década de los años 60, posee como elemento estructural de los canales de combustible una aleación de alto contenido de cobalto, denominada "stellite". Esta aleación, sometida al flujo neutrónico del reactor, se activa dando lugar a la producción de cobalto 60. Los productos de la erosión y corrosión de esa aleación son transportados por el refrigerante y se depositan a lo largo del circuito primario contribuyendo con más del 60% a la dosis ocupacional debida a exposición externa. Por este motivo, en la CNA II, actualmente en construcción, el ENREN prohibió el uso de aleaciones de cobalto en el circuito primario.

Las tareas efectuadas durante la Parada Programada de 2 meses de duración para efectuar reparaciones y mantenimiento preventivo en la central tuvieron una contribución importante en las dosis individuales registradas en el año. La característica bimodal de la distribución, presentada en la figura 4, muestra claramente esta contribución.

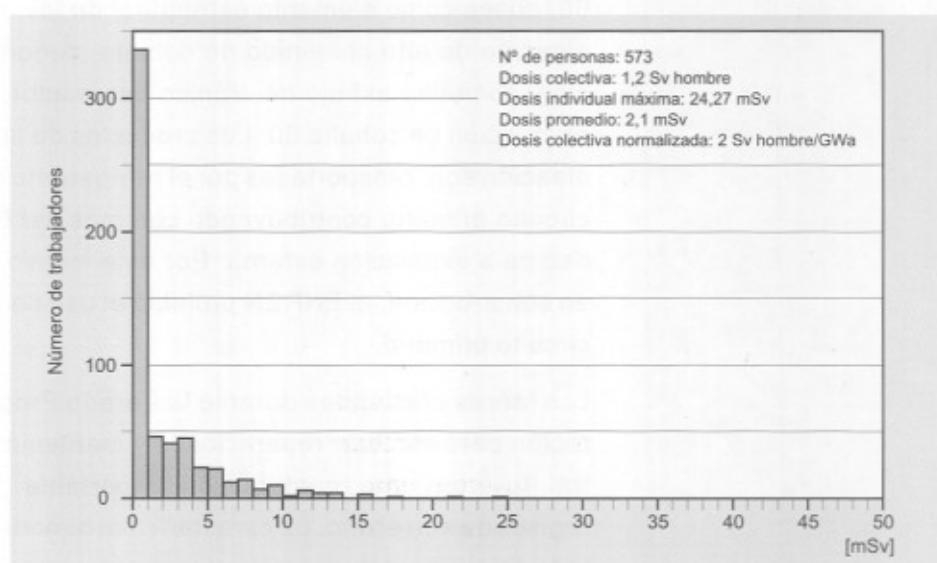
**Figura 4**  
**Central Nuclear**  
**Atucha I**  
**Distribución de**  
**dosis individuales**



En la CNE ningún trabajador superó los límites de dosis, y sólo dos personas recibieron dosis superiores a 20 mSv. Las dosis de estos dos trabajadores corresponden, en su mayor parte, a contaminación interna por incorporación de tritio, y fueron recibidas durante trabajos en el área de recarga del reactor llevados a cabo en marzo de 1996.

En esta central no hubo salidas de servicio para tareas importantes desde el punto de vista radiológico, lo que se refleja en la distribución de dosis que presenta características normales para la operación de la planta (Figura 5).

**Figura 5**  
**Central Nuclear**  
**Embalse**  
**Distribución de**  
**dosis individuales**





Se presentan en la **Tabla 1** los parámetros correspondientes a las dosis colectivas recibidas en las centrales nucleares durante 1996.

**Tabla 1**

	Dosis colectiva Sv hombre	Dosis colectiva normalizada Sv hombre/GWa	Dosis colectiva H 3 %	Energía bruta generada GWa
Central Nuclear Atucha I	9,7	39	17	0,25
Central Nuclear Embalse	1,2	2	35	0,60

En 1996 la diferencia entre las dosis colectivas correspondientes a ambas centrales fue superior a la relación normal debido al fuerte impacto que produjo en las dosis ocupacionales la parada programada para mantenimiento llevada a cabo en la CNA I.

La **Tabla 2** presenta los parámetros correspondientes a las distribuciones de dosis individuales de las centrales nucleares Atucha I y Embalse.

**Tabla 2**

	Dosis promedio mSv	Dosis individual máxima mSv	Número de personas
Central Nuclear Atucha I	10	37	981
Central Nuclear Embalse	2	24	573

## Reactores de investigación

Se presentan en las **Figuras 6, 7, 8 y 9** las distribuciones de dosis individuales correspondientes al año 1996 de los reactores de investigación RA 0 (Universidad Nacional de Córdoba), RA 1 (CAC-CNEA), y RA 6 (CAB-CNEA), y del reactor RA 3 de investigación y producción de radioisótopos (CAE-CNEA). Las dosis individuales resultaron en todos los casos menores que los límites de dosis. La dosis individual máxima recibida en las cuatro instalaciones fue 4 mSv, lo que representa el 20% de los 20 mSv, valor considerado como promedio en cinco años consecutivos para cumplir con el límite de dosis -100 mSv en cinco años.

Figura 6

**Reactor RA 0**  
Distribución de  
dosis individuales

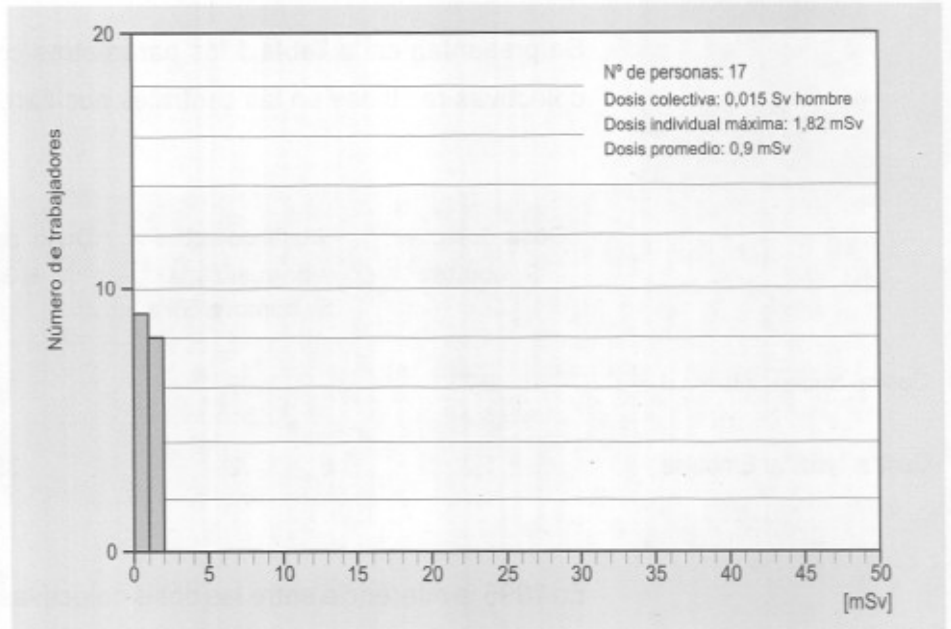


Figura 7

**Reactor RA 1**  
Distribución de  
dosis individuales

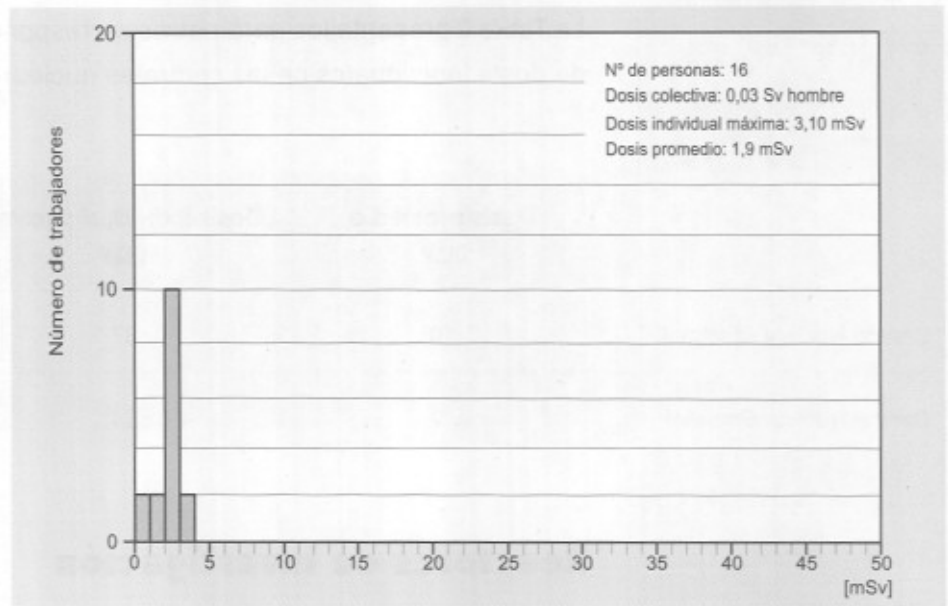


Figura 8

**Reactor RA 6**  
Distribución de  
dosis individuales

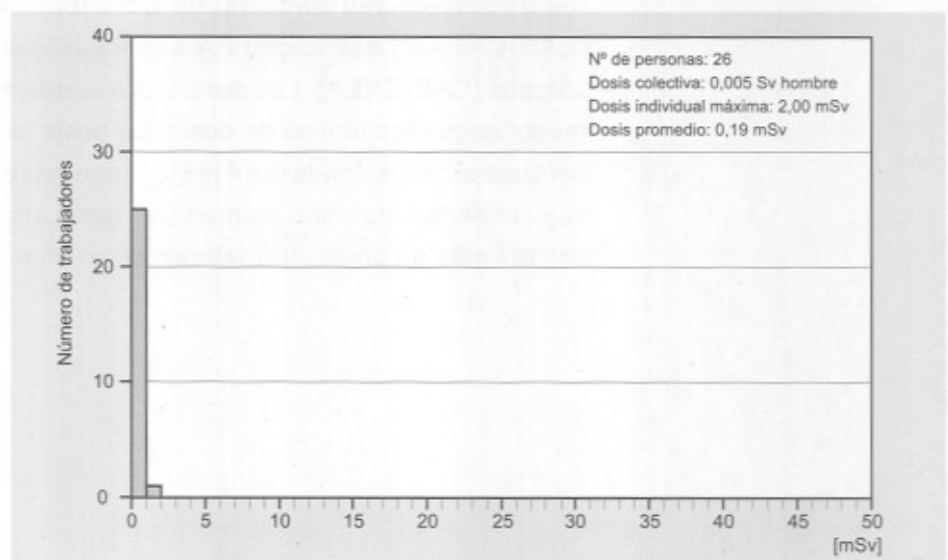
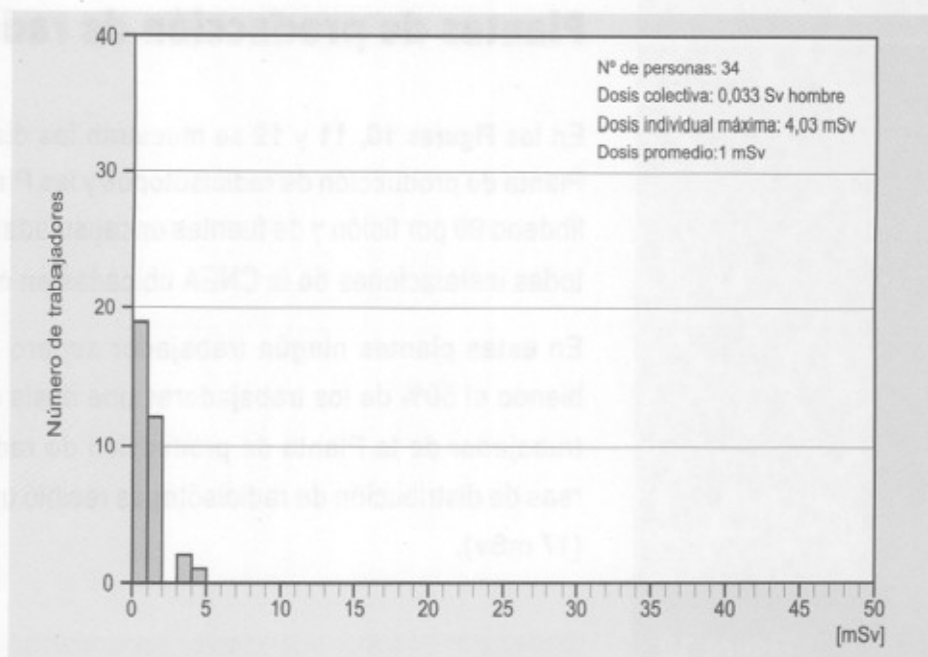


Figura 9

**Reactor RA 3**  
Distribución de  
dosis individuales



**Aceleradores de partículas**

La **Tabla 3** presenta los parámetros correspondientes a las distribuciones de dosis individuales de las máquinas aceleradoras de partículas para investigación y producción de radioisótopos. Durante el año 1996 en el acelerador TANDAR se efectuaron únicamente irradiaciones con iones pesados. El Ciclotrón de producción se encuentra aún en el período de pruebas.

Tabla 3

	Dosis colectiva Sv hombre	Número de personas	Dosis promedio mSv	Dosis individual máxima mSv
TANDAR (CAC)	0,000	11	0,0	0,0
Acelerador Lineal (CAB)	0,002	13	0,2	0,5
Ciclotrón (CAE)	0,000	10	0,0	0,1

Como es previsible, las dosis de los trabajadores de estas prácticas son poco significativas.

**Plantas de irradiación con altas dosis**

Las dosis individuales recibidas por los trabajadores de la Planta semi-industrial de irradiación de la CNEA, y la Planta de irradiación de IONICS S.A., ubicada en la localidad de Tigre son poco significativas, como es esperable en este tipo de instalaciones. Durante el año 1996, la planta de la CNEA prácticamente no operó debido a que se realizaron tareas de mantenimiento en la misma.

## Plantas de producción de radioisótopos

En las Figuras 10, 11 y 12 se muestran las distribuciones de dosis de la Planta de producción de radioisótopos y las Plantas de producción de molibdeno 99 por fisión y de fuentes encapsuladas de cobalto 60 e iridio 192, todas instalaciones de la CNEA ubicadas en el CAE.

En estas plantas ningún trabajador superó los límites de dosis, recibiendo el 50% de los trabajadores una dosis menor que 2 mSv. Un solo trabajador de la Planta de producción de radioisótopos, afectado a tareas de distribución de radioisótopos recibió una dosis superior a 10 mSv (17 mSv).

Figura 10

**Planta de  
producción de  
radioisótopos**  
Distribución de  
dosis individuales

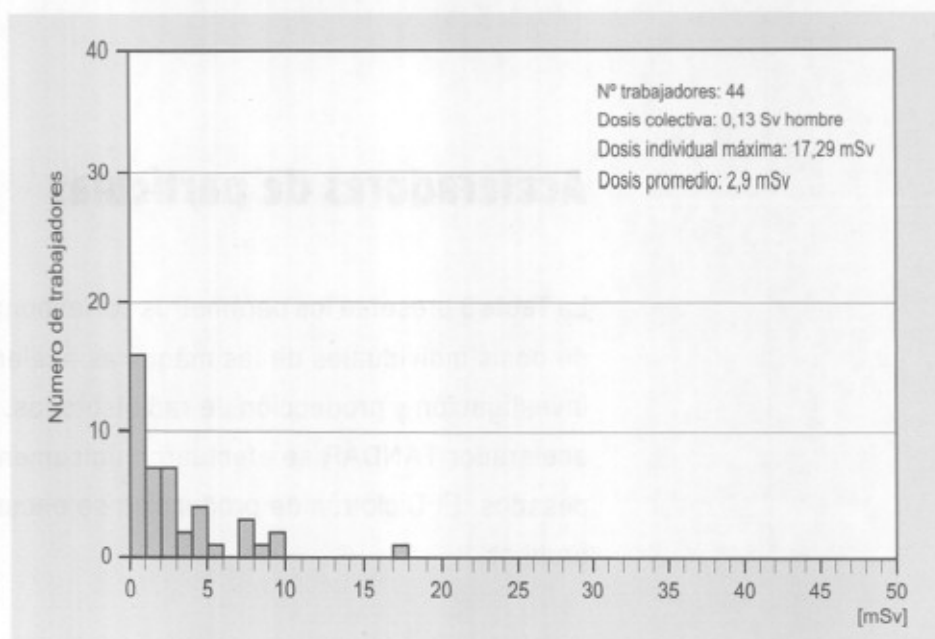


Figura 11

**Planta de  
producción de  
molibdeno 99  
por fisión**  
Distribución de  
dosis individuales

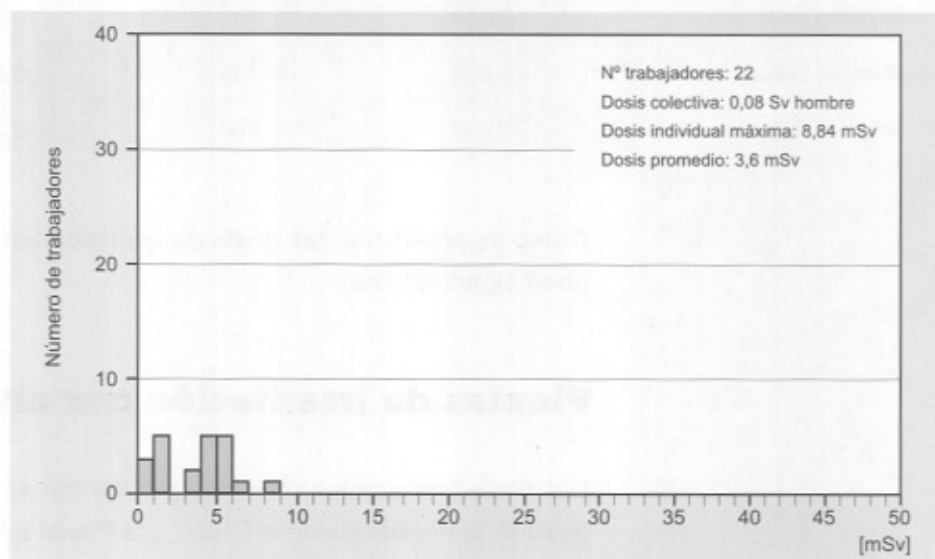
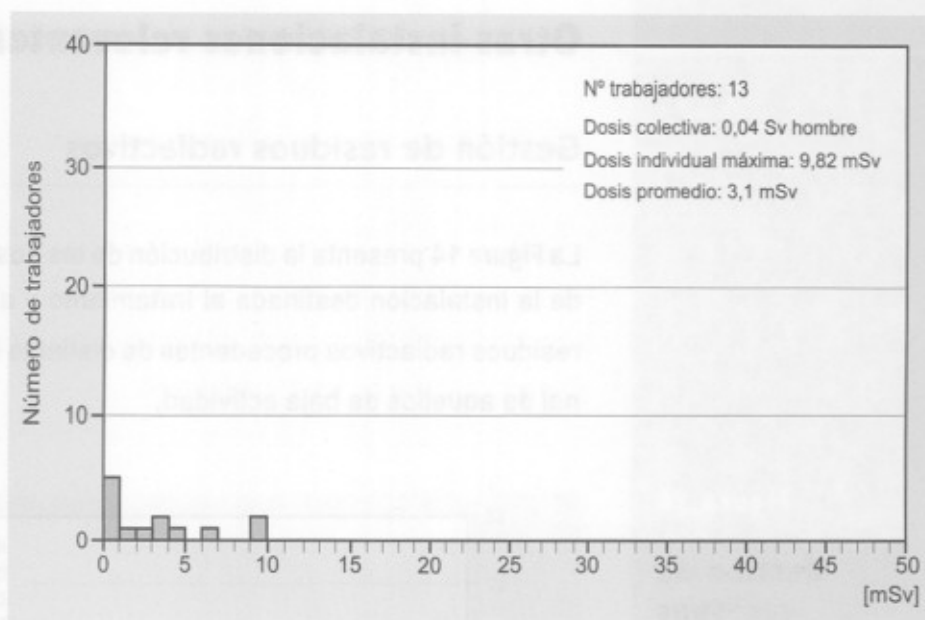


Figura 12

**Planta de  
producción de  
fuentes selladas**  
Distribución de  
dosis individuales



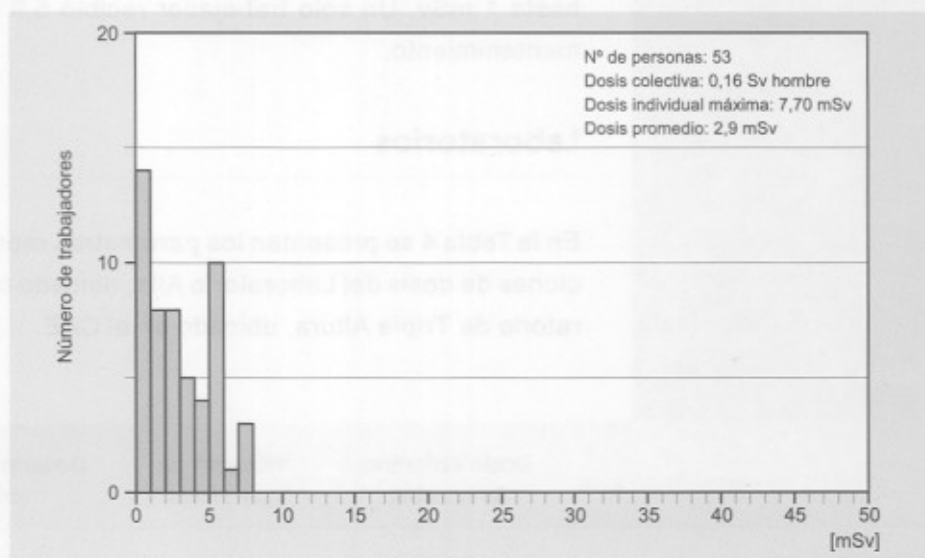
**Fabricación de elementos combustibles**

La **Figura 13** presenta la distribución de dosis de los trabajadores de la Fábrica de elementos combustibles nucleares (operada por CONUAR S.A.), ubicada en el CAE, la Fábrica de elementos combustibles para reactores de investigación (FECRI) del CAE y la Planta de fabricación de elementos combustibles para reactores de investigación (ECRI) del CAC.

En estas instalaciones ningún trabajador superó los límites de dosis. El 50% de los trabajadores recibieron dosis menores que 3 mSv.

Figura 13

**Fabricación de  
elementos  
combustibles**  
Distribución de  
dosis individuales

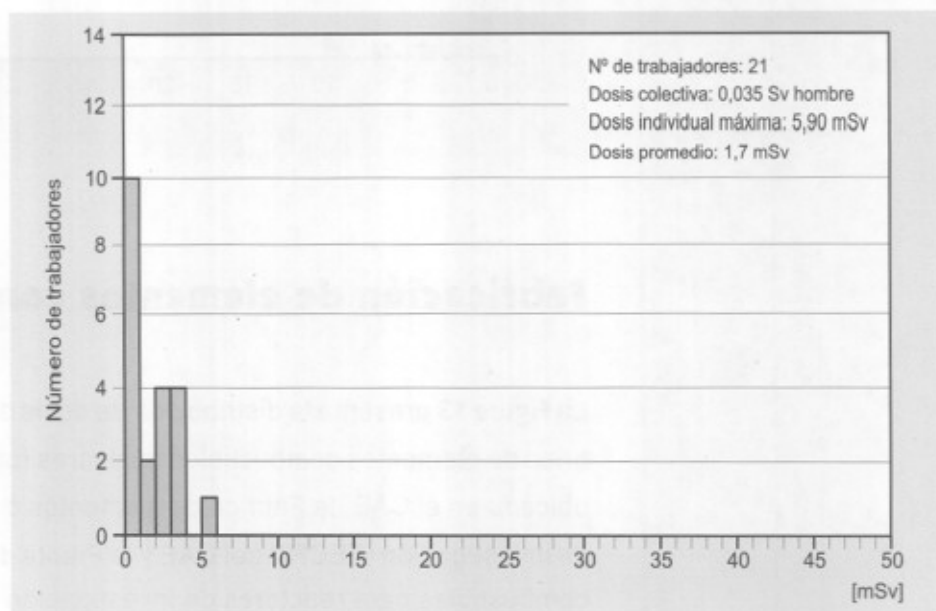


## Otras instalaciones relevantes

### Gestión de residuos radiactivos

La Figura 14 presenta la distribución de las dosis recibidas por el personal de la instalación destinada al tratamiento y almacenamiento interino de residuos radiactivos procedentes de distintas tareas, y a la disposición final de aquellos de baja actividad.

**Figura 14**  
**Gestión de residuos radiactivos**  
**Distribución de dosis individuales**



Ningún trabajador superó el límite de dosis. El 50% de los mismos recibió hasta 1 mSv. Un solo trabajador recibió 5,9 mSv efectuando tareas de mantenimiento.

### Laboratorios

En la **Tabla 4** se presentan los parámetros representativos de las distribuciones de dosis del Laboratorio Alfa, ubicado en el CAC-CNEA y del Laboratorio de Triple Altura, ubicado en el CAE.

**Tabla 4**

	Dosis colectiva Sv hombre	Número de personas	Dosis promedio mSv	Dosis individual máxima mSv
Laboratorio Alfa	0,008	12	0,7	1,0
Laboratorio de Triple Altura	0,003	17	0,2	0,8

En ningún caso se superaron los límites de dosis. Las dosis de los trabajadores resultaron inferiores a 1 mSv.

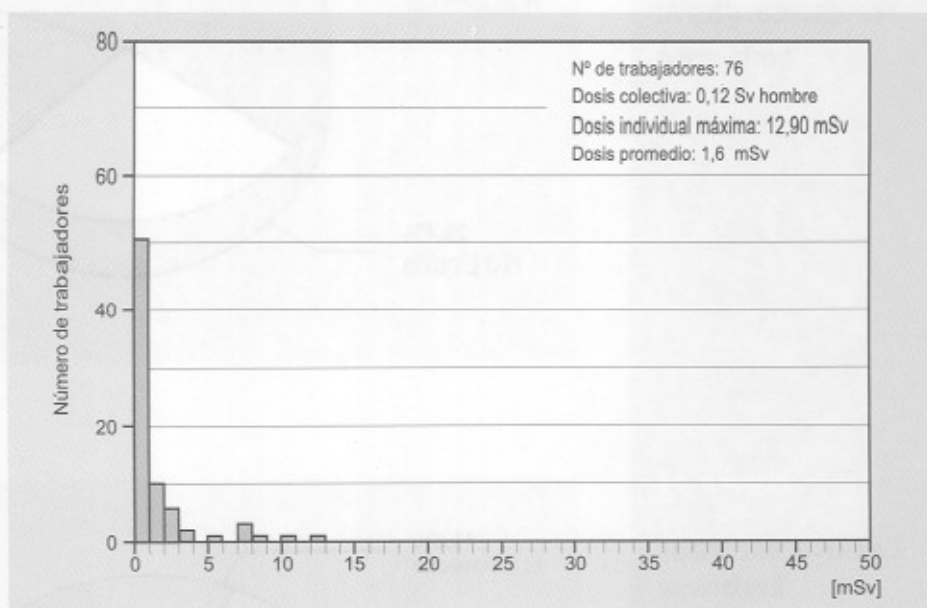
## Personal del ENREN

La Figura 15 presenta la distribución de dosis del personal del ENREN.

Las dosis corresponden a tareas de inspección en Seguridad Radiológica y Nuclear, Salvaguardias y Protección Física, y a personal de los laboratorios del ENREN.

Figura 15

### Personal del ENREN Distribución de dosis individuales



Las mayores dosis fueron recibidas en tareas regulatorias planificadas -espectrometría de neutrones en los reactores de investigación RA 1 y RA 0- y en inspecciones en la CNA I.

## Descargas de material radiactivo al ambiente

### Centrales nucleares

Las Figuras 16 y 17 muestran la composición de las descargas de efluentes radiactivos gaseosos y líquidos al ambiente para la CNA I y CNE, respectivamente. De las mismas surge que aproximadamente el 75% de la actividad descargada corresponde al tritio, ya que las centrales nucleares argentinas, utilizan agua pesada como moderador y refrigerante. En la CNE la contribución de los gases nobles a la actividad total descargada es mayor que en la CNA I, dado que esa central no tiene tanques de almacenamiento para retardar la salida al ambiente de los gases nobles. Los radionucleidos incluidos en "gases nobles" son distintos radioisótopos del xenón, del criptón, y el argón 41. En general, la mayor actividad, dentro de este grupo de radionucleidos corresponde al xenón 133. Entre los emi-

sores gamma presentes en las descargas líquidas se encuentran productos de fisión, y productos de activación como por ejemplo el cobalto 60.

Figura 16

**Central Nuclear  
Atucha I**  
Composición de  
las descargas al  
ambiente

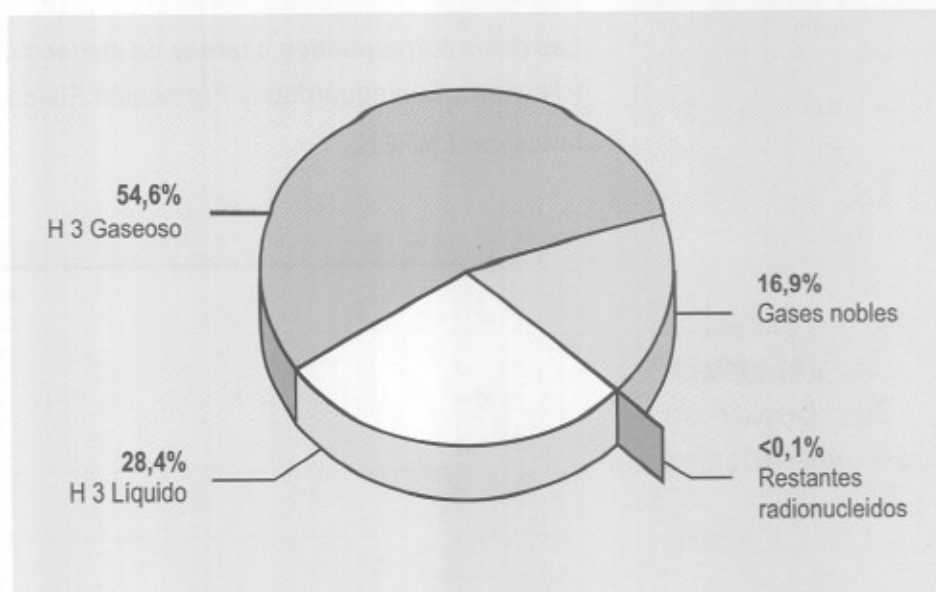
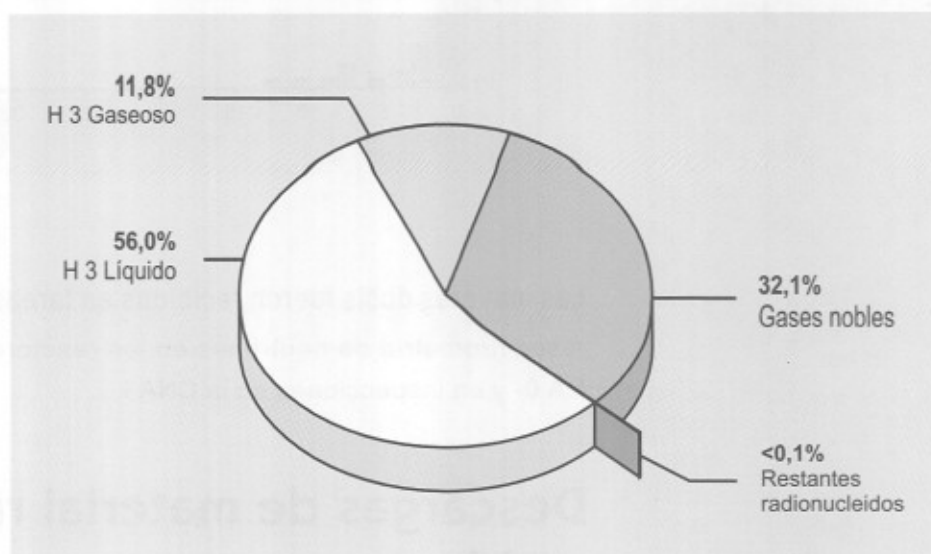


Figura 17

**Central Nuclear  
Embalse**  
Composición de  
las descargas al  
ambiente



Las Figuras 18 y 19 muestran la fracción del límite autorizado que descargaron al ambiente las centrales nucleares durante el año 1996, para los distintos radionucleidos. En total representaron el 23% para la CNA I y el 13% del límite para la CNE. Cabe aclarar que los límites autorizados de descarga fueron fijados para valores de restricciones de dosis en el grupo crítico menores que 0,3 mSv, lo cual aparece reflejado en las dosis estimadas en los grupos críticos correspondientes.



Figura 18

**Central Nuclear  
Atucha I**  
Descargas al  
ambiente  
Porcentaje del  
límite autorizado

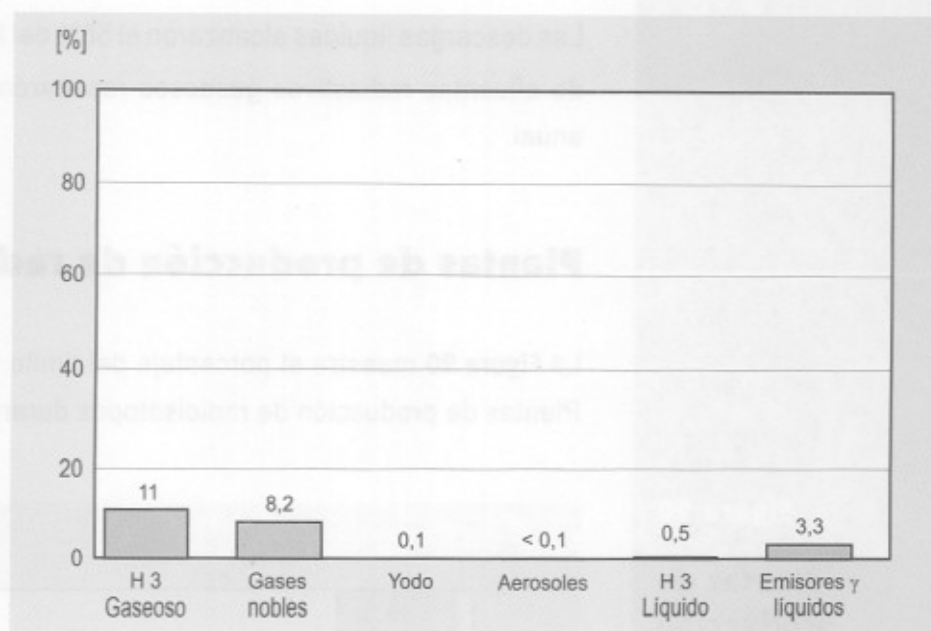
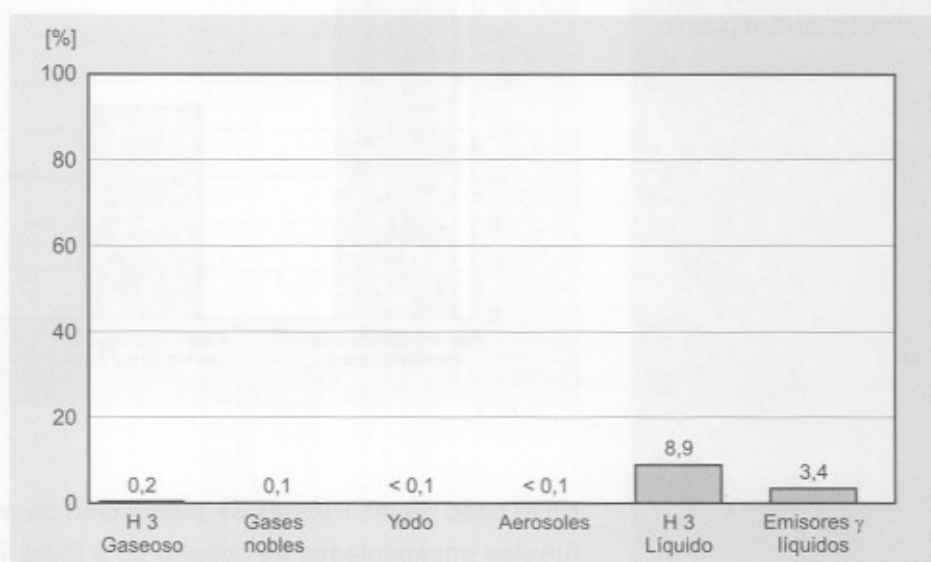


Figura 19

**Central Nuclear  
Embalse**  
Descargas al  
ambiente  
Porcentaje del  
límite autorizado



## Reactores de investigación

Durante el año 1996, las descargas al ambiente del reactor de investigación y producción de radioisótopos RA 3 alcanzaron el 1% del límite anual y la descarga de efluentes radiactivos líquidos del RA 1 alcanzó el 0,6% del límite anual.

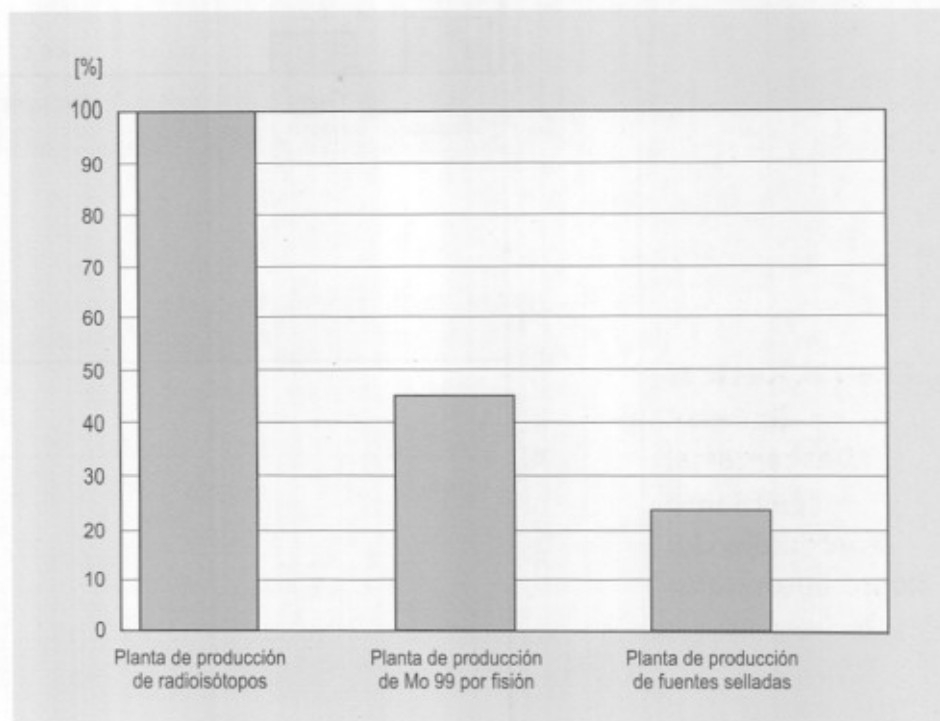
En el reactor de investigación RA 6, la descarga de efluentes radiactivos líquidos se efectúa a un sistema de semi-contención que permite un decaimiento substancial de los radionucleidos antes de ingresar al medio ambiente. Los límites de descarga, en este último, fueron establecidos con un criterio muy restrictivo tanto desde el punto de vista de los modelos utilizados para estimar el impacto potencial en el grupo crítico hipotético futuro, como por la restricción de dosis asignada a dicho grupo crítico.

Las descargas líquidas alcanzaron el 56% del límite anual. Las descargas de efluentes radiactivos gaseosos resultaron menores al 1% del límite anual.

## Plantas de producción de radioisótopos

La Figura 20 muestra el porcentaje del límite anual que descargaron las Plantas de producción de radioisótopos durante 1996.

**Figura 20**  
**Plantas de producción**  
**Descargas al ambiente**  
**Porcentaje del límite autorizado**



En el caso de las Plantas de producción de molibdeno 99 por fisión y de fuentes encapsuladas de cobalto 60 e iridio 192, instalaciones ubicadas en el Centro Atómico Ezeiza, las descargas al ambiente resultaron inferiores al 50% de los límites.

La descarga resultante de la operación normal de la Planta de producción de radioisótopos alcanzó el 100% del límite autorizado. Al respecto cabe aclarar que, cuando una instalación de este tipo descarga un valor igual al límite autorizado, la dosis en el grupo crítico es, al menos, un orden de magnitud menor que la restricción de dosis fijada en la normativa vigente para la operación de dichas instalaciones. Las mejoras introducidas en el sistema de retención de los efluentes de la planta permitirán reducir el nivel de descargas.

Durante 1996 se registraron dos incidentes operativos en la Planta de producción de radioisótopos de la CNEA que implicaron una descarga no prevista de yodo a la atmósfera de 6 GBq. A raíz del incidente ocurrido en el mes de marzo, se procedió a la suspensión de la operación de la planta.

En la Planta de producción de molibdeno 99 por fisión, se registró en julio de 1996, un incidente operativo que implicó una descarga no prevista a la atmósfera de 2,9 GBq de radioisótopos de yodo y teluro. A raíz del incidente, y una vez realizadas las acciones regulatorias tendientes a restaurar las condiciones normales de operación, se requirió a la CNEA la presentación de un proyecto para realizar modificaciones en los circuitos de extracción de aire para prevenir la repetición de incidentes de similar naturaleza.

## Fabricación de elementos combustibles

Durante 1996, la descarga de efluentes radiactivos al ambiente debida a la fábrica de elementos combustibles nucleares (CONUAR S.A.) representaron el 3% del límite anual para descargas gaseosas y el 59% del límite anual para descargas líquidas. Los límites autorizados de descarga fueron fijados con un criterio restrictivo respecto de la dosis en el grupo crítico, resultando la misma casi dos órdenes de magnitud inferior al valor vigente en la normativa argentina.

## Dosis en el público

No es posible, en la mayoría de los casos, determinar por medio de mediciones directas en el ambiente o en el hombre, las dosis debidas a la exposición a la radiación ambiental recibidas por la población. Para ello, es necesario utilizar modelos que representan el transporte de los radionucleidos desde el ambiente hasta el hombre.

La cadena de acontecimientos que tiene lugar desde la emisión de material radiactivo al ambiente hasta su llegada al hombre se representa mediante una serie de compartimientos, relacionados entre sí por parámetros de transferencia. Los parámetros son constantes en el tiempo y a los modelos se los llama de compartimientos en condiciones de equilibrio. Estos modelos han sido adoptados por el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de la Radiación Atómica (en inglés, UNSCEAR) para evaluar las dosis recibidas por la población y son los utilizados por la Autoridad Regulatoria argentina, tal como en otros países.

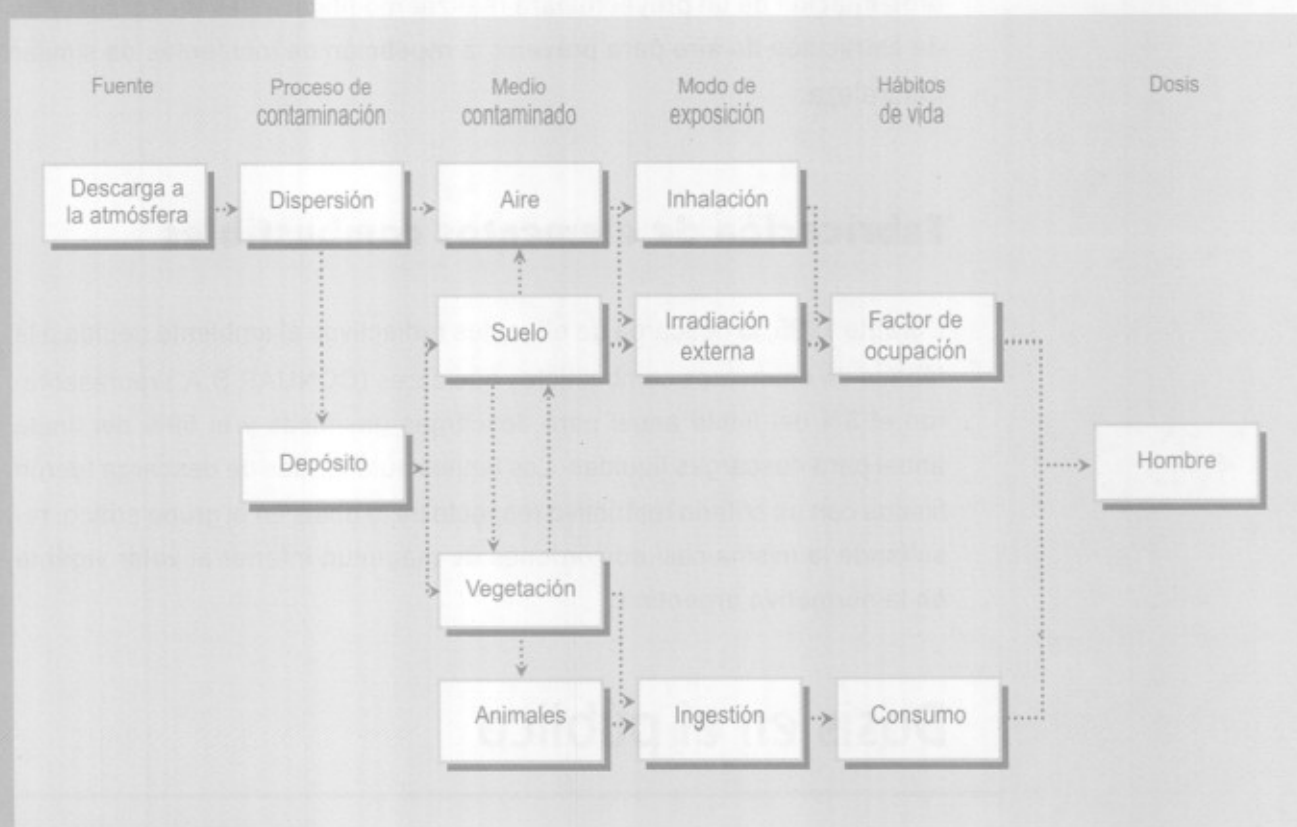
Los parámetros de transferencia se definen como el cociente entre la concentración acumulada de actividad en un compartimiento del sistema bajo estudio y la concentración en el compartimiento que lo precede.

El material radiactivo liberado al ambiente se dispersa, se diluye en la atmósfera y en el agua, y posteriormente es transportado por el viento o los cursos de agua. En la **Figura 21** se representan, a modo de ejemplo, las

vías críticas de exposición del hombre para radionucleidos liberados a la atmósfera.

Figura 21

### Vías críticas de exposición en descargas atmosféricas



El modelo para evaluar el transporte de radionucleidos en la atmósfera, a escala local y regional, es el de una pluma de forma gaussiana estacionaria (como si fuera un penacho de humo), con parámetros de dispersión basados en la clasificación de Pasquill sobre la estabilidad atmosférica. Para los radionucleidos cuya dispersión es mundial, se utilizan los modelos globales desarrollados por el UNSCEAR.

Las dosis por irradiación externa debidas a material radiactivo disperso en la atmósfera dependen, principalmente, de la distribución espacial y temporal de la actividad, así como del tipo y energía de la radiación emitida por cada radionucleido. La radiación es atenuada por los edificios y vehículos de transporte, reduciéndose las dosis respecto a las que se tendrían a cielo abierto.

Cuando se consideran las dosis debidas al material radiactivo depositado sobre el terreno, sólo interesa la emisión de radiación gamma de dicho material. La tasa de dosis asociada al mismo va disminuyendo debido a la desintegración radiactiva y a la remoción de los radionucleidos de la superficie del terreno (v.g. remoción debida a la absorción de los radionucleidos por el suelo o el lavado ocasionado por las lluvias).

La estimación de la irradiación interna de las personas, debida a la liberación de material radiactivo a la atmósfera, ingerido o inhalado por las mismas, co-

mienza con la determinación de la concentración de radionucleidos en el aire y de la actividad depositada en las superficies de interés, para continuar con el análisis de la transferencia de los radionucleidos hasta el hombre.

## Centrales nucleares

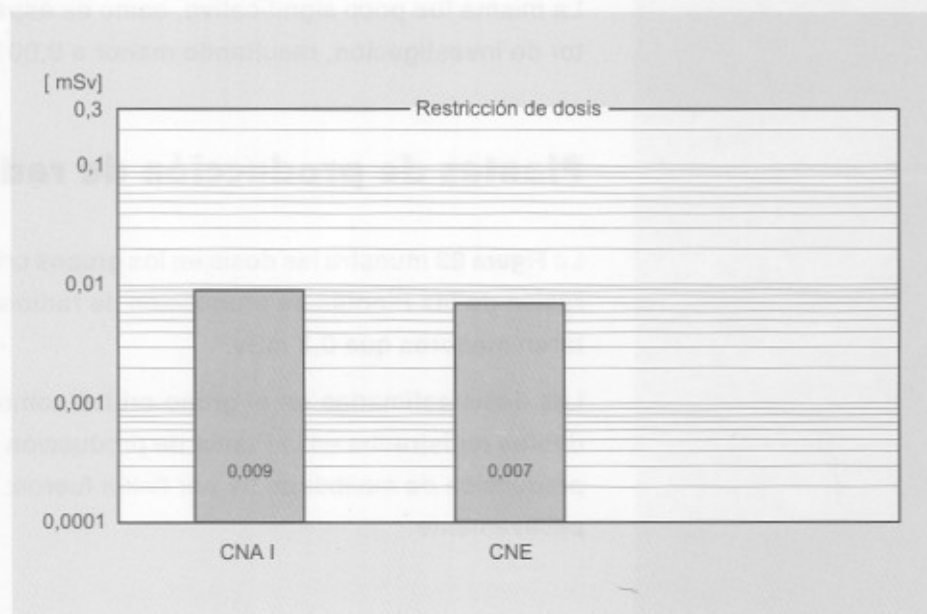
### Dosis en el grupo crítico

La **Figura 22** muestra las dosis en los grupos críticos para la CNA I y la CNE. En la misma se observa que los valores resultantes están muy por debajo del valor de la restricción de dosis para una instalación en particular, fijada en 0,3 mSv. Las dosis alcanzaron sólo el 3% de la restricción.

Las características de las zonas donde están ubicadas las dos centrales nucleares y la composición de las descargas influyen directamente en las dosis en los grupos críticos. En la CNA I el vertido de los efluentes líquidos se hace en un río caudaloso como es el Paraná de las Palmas, en cambio la descarga de efluentes líquidos de la CNE se hace en el embalse del Río Tercero. Estas características influyen en las dosis de manera que el 95% de la dosis en el grupo crítico de la CNA I es debida a descargas a la atmósfera, mientras que en la CNE el 98% de la dosis es debida a las descargas al lago.

**Figura 22**

### Centrales Nucleares Dosis en el grupo crítico



### Dosis colectiva

La **Tabla 5** muestra la dosis colectiva regional -hasta 2000 km- normalizada con la energía generada, para las centrales nucleares Atucha I y Embalse.

**Tabla 5**

	Descargas gaseosas Sv hombre/GWa	Descargas líquidas Sv hombre/GWa	Descargas totales Sv hombre/GWa
Central Nuclear Atucha I	0,720	0,440	1,2
Central Nuclear Embalse	0,007	0,310	0,3

La dosis colectiva global normalizada por la energía generada, debido a las descargas de tritio, excluido el carbono 14, resultó 1 y 0,1 Sv hombre por GW año para la CNA I y la CNE, respectivamente.

Estos valores de dosis colectiva normalizada resultaron inferiores al valor de la restricción de dosis fijada por la Autoridad Regulatoria en 15 Sv hombre por GW año.

## Reactores de investigación

La dosis en el grupo crítico resultante de la operación del reactor RA 3 durante 1996 fue 0,001 mSv. La misma resultó menor al 1% del valor de la restricción de dosis fijadas en 0,3 mSv. Dado que las descargas líquidas del RA 6 están aisladas del medio ambiente, se estima sólo la dosis en el grupo crítico resultante de la descarga de efluentes radiactivos gaseosos. La misma fue poco significativa, como es esperable en este tipo de reactor de investigación, resultando menor a 0,001 mSv.

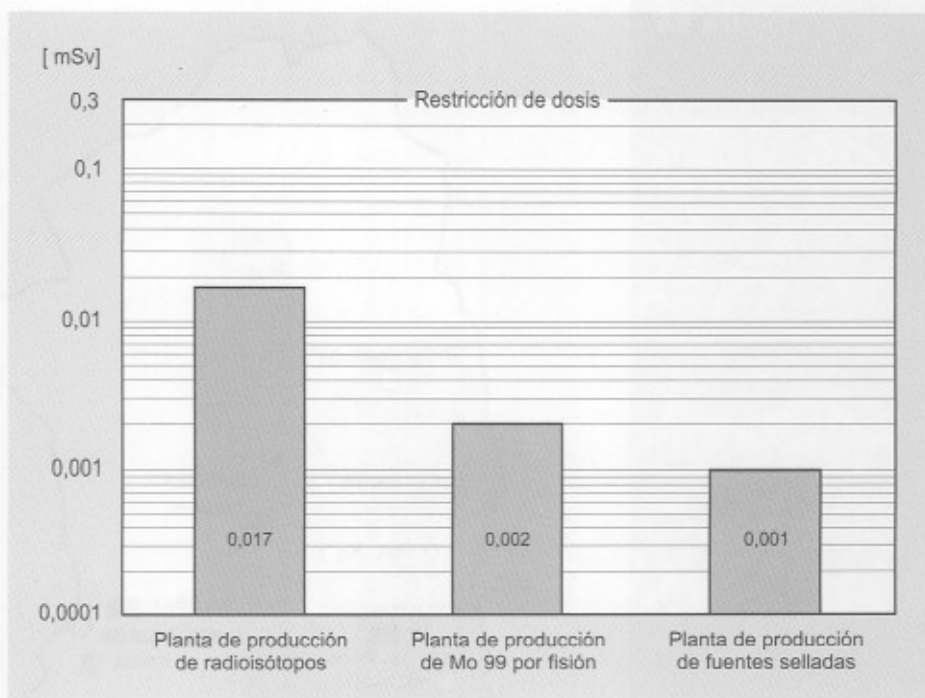
## Plantas de producción de radioisótopos

La **Figura 23** muestra las dosis en los grupos críticos resultantes de la operación de las Plantas de producción de radioisótopos. Las mismas resultaron menores que 0,3 mSv.

Las dosis estimadas en el grupo crítico como consecuencia de los incidentes registrados en la Planta de producción de radioisótopos y en la de producción de molibdeno 99 por fisión fueron: 0,03 mSv y 0,02 mSv, respectivamente.

Figura 23

### Planta de producción Dosis en el grupo crítico



## Fabricación de elementos combustibles

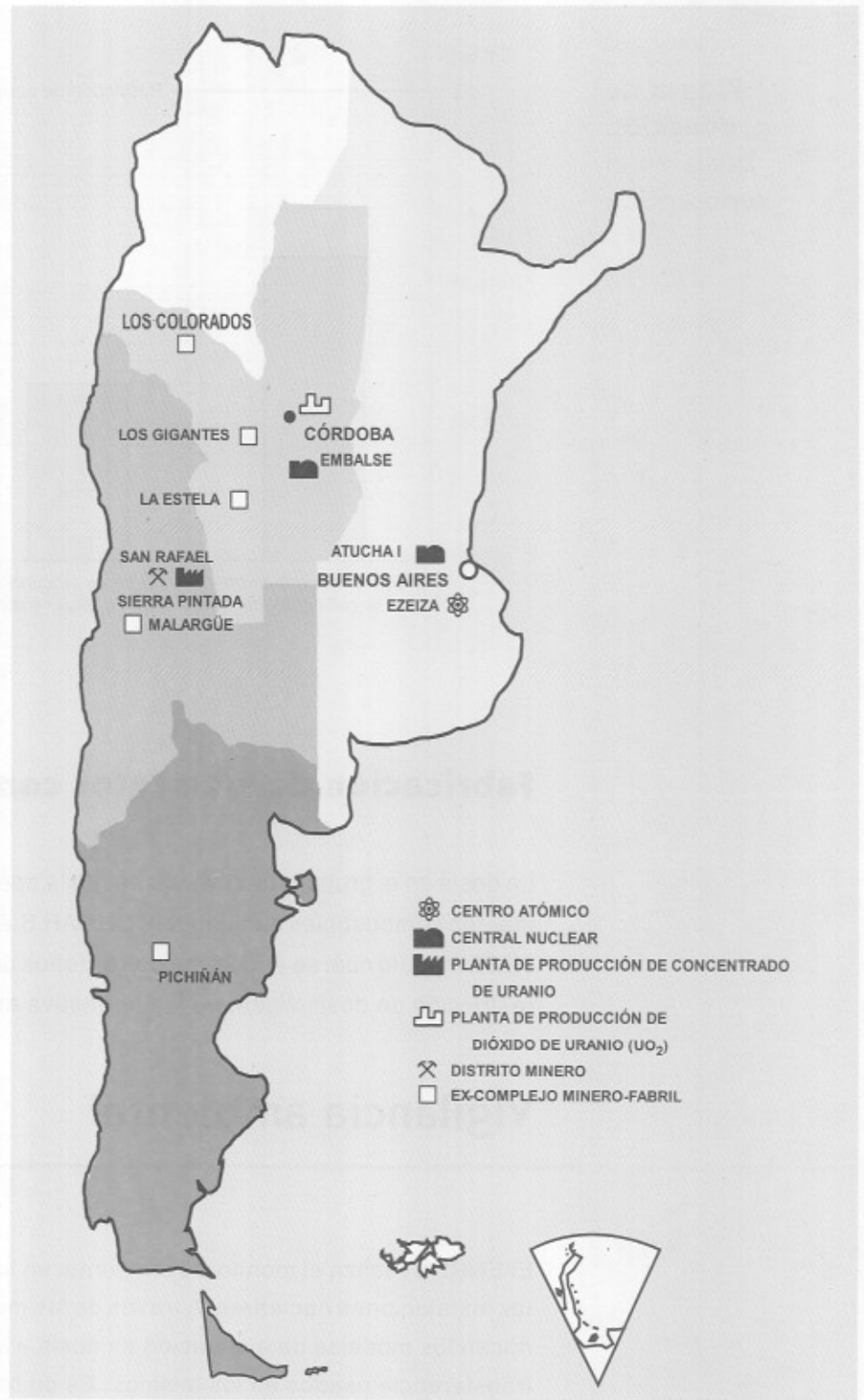
La dosis en el grupo crítico resultante de la operación de la Fábrica de elementos combustibles nucleares (CONUAR S.A.), durante el año 1996, fue 0,003 mSv, lo cuál se encuentra dos órdenes de magnitud por debajo de la restricción de dosis vigente en la normativa argentina.

## Vigilancia ambiental

El ENREN realiza el monitoreo ambiental en los alrededores de las distintas instalaciones nucleares. A través de las mediciones efectuadas se verifican los modelos de evaluación de dosis y la validez de los factores de transferencia usados en los mismos. Es de hacer notar que el monitoreo ambiental realizado se lleva a cabo en forma totalmente independiente del que realizan las distintas instalaciones. Adicionalmente, esta tarea permite responder a inquietudes de opinión pública sobre el tema.

Las instalaciones, alrededor de las cuales el ENREN ha efectuado monitoreos ambientales durante el año 1996 son: las centrales nucleares de NASA, Atucha I y Embalse, el Centro Atómico Ezeiza, los Complejos Fabriles Córdoba y San Rafael de CNEA y los ex-Complejos minero-fabriles de Los Gigantes, Malargüe, La Estela, Los Colorados, y Pichiñán, como se indica en la **Figura 24**.

Figura 24



Se efectúa, además, el monitoreo ambiental no relacionado con las instalaciones nucleares determinándose la contribución de fuentes radiactivas artificiales en muestras ambientales.

## Monitoreo ambiental alrededor de instalaciones nucleares

Desde la puesta en marcha de la primera central nuclear, en 1974, se implementó un programa de monitoreo, abarcando la mayor parte de los



compartimentos del modelo ambiental, para lo cual se fijaron los criterios para establecer los puntos de toma de muestras y las frecuencias de muestreo apropiadas. Las técnicas de análisis y medición son adecuadas para la detección de los distintos radionucleidos.

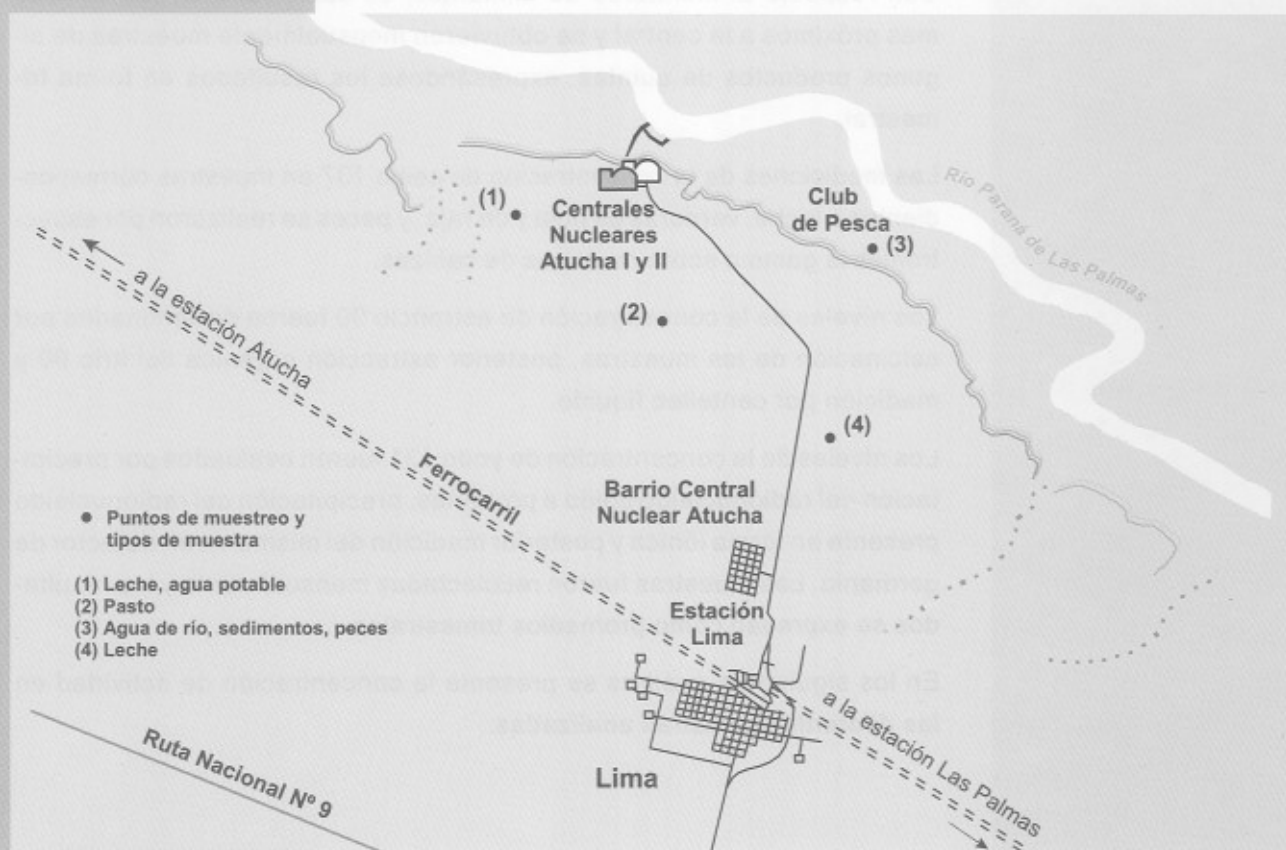
Más del 99,9% de los radionucleidos que se generan en las centrales nucleares son retenidos en los tubos de zircaloy (aleación de circonio) que envainan los elementos combustibles, y sólo parte de la fracción restante es liberada al ambiente, como efluentes gaseosos y líquidos.

En el caso de las centrales nucleares los radionucleidos analizados, debido a su importancia radiológica, son, principalmente los productos de fisión (cesio 137, estroncio 90, yodo 131) y de activación (tritio y cobalto 60).

### Central Nuclear Atucha I

La Central Nuclear Atucha I está ubicada sobre el río Paraná de las Palmas a 7 km de la ciudad de Lima, en el partido de Zárate, provincia de Buenos Aires.

En la **Figura 25** se presenta la ubicación de los puntos de muestreo ambiental en los alrededores de la CNA I.



**Figura 25**

Se tomaron muestras representativas de los diferentes compartimentos de la matriz ambiental de transferencia de radionucleidos. Para evaluar el impacto ambiental de las descargas líquidas, se tomaron muestras de

agua del río, sedimentos y peces. Adicionalmente, se realizó el monitoreo del agua potable extraída de pozos cercanos a la central.

Para las descargas a la atmósfera, se tomaron muestras de alimentos producidos en la zona, tales como leche y vegetales (papa, lechuga, zanahoria, remolacha, acelga repollo, batata, cebolla, puerro, zapallito, naranja, quinoto, limón y mandarina). El pasto fue analizado como indicador del depósito del material radiactivo. Se tomaron en total 103 muestras en los diferentes puntos de muestreo.

Las muestras de agua de río y sedimentos fueron tomadas con una frecuencia mensual en el Club de Pescadores de la zona, a unos 3 km río abajo de la Central (punto 3). Las muestras de agua potable fueron tomadas mensualmente de un pozo ubicado dentro de un radio de 5 km de la central (punto 1).

En las mismas zonas donde se tomaron muestras de agua de río, se realizó la captura de peces con una frecuencia mensual, expresándose los resultados como promedios trimestrales.

Las muestras de leche fueron recolectadas en forma semanal en zonas de pastoreo ubicadas dentro de un radio de 10 km de la central (puntos 1 y 4) y las de pasto en un radio de 5 km de la central (punto 2).

Con respecto al monitoreo de alimentos, se seleccionaron los cultivos más próximos a la central y se obtuvieron mensualmente muestras de algunos productos de quintas, expresándose los resultados en forma trimestral.

Las mediciones de la concentración de cesio 137 en muestras correspondientes a leche, verduras de hoja y de raíz, y peces se realizaron por espectrometría gamma sobre muestras de cenizas.

Los niveles de la concentración de estroncio 90 fueron determinados por calcinación de las muestras, posterior extracción orgánica del itrio 90 y medición por centelleo líquido.

Los niveles de la concentración de yodo 131 fueron evaluados por precipitación del radionucleido unido a proteínas, precipitación del radionucleido presente en forma iónica y posterior medición del mismo en un detector de germanio. Las muestras fueron recolectadas mensualmente y los resultados se expresan como promedios trimestrales.

En los siguientes cuadros se presenta la concentración de actividad en las diferentes muestras analizadas:

### Concentración de actividad en agua del río Paraná (Bq/l)

Período	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Enero	< 4,3			
Febrero	< 4,3	< 2,6 E-3	< 1,8 E-3	< 1,8 E-3
Marzo	< 4,3			
Abril	< 4,3			
Mayo	< 4,3	< 2,1 E-3	< 1,4 E-3	1,6 E-3
junio	< 4,3			
Julio	< 4,3			
Agosto	< 4,3	< 1,5 E-3	< 2,2 E-3	1,1 E-3
Setiembre	< 4,3			
Octubre	< 4,3			
Noviembre	< 4,3	< 3,3 E-3	< 1,8 E-3	< 7,0 E-4
Diciembre	< 4,3			

**Nota:** Las mediciones de cesio, cobalto y estroncio se realizan sobre muestras trimestrales.

### Concentración de actividad en sedimentos del río Paraná (Bq/kg)

Período	cesio 137	cobalto 60
1º trimestre	0,7	< 0,5
2º trimestre	< 1,6	< 1,9
3º trimestre	< 1,1	< 1,1
4º trimestre	< 1,4	3,1

### Concentración de actividad en peces del río Paraná (Bq/kg)

Período	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
1º trimestre	< 0,05	< 0,04	0,12
2º trimestre	< 0,05	< 0,05	0,22
3º trimestre	< 0,04	< 0,04	0,15
4º trimestre	< 0,04	< 0,03	0,12

**Nota:** muestra conjunta de bagre, vieja del agua y patí.

### Concentración de actividad en agua potable (napa) (Bq/l)

Período	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
1º trimestre	< 4,3	< 7,2 E-3	< 4,8 E-3	< 1,5 E-3
2º trimestre	< 4,3	< 4,0 E-3	< 3,0 E-3	1,3 E-3
3º trimestre	< 4,3	< 2,0 E-3	< 1,5 E-3	9,3 E-4
4º trimestre	< 4,3	< 1,5 E-3	< 1,1 E-3	< 7,0 E-4

### Concentración de actividad en leche de la zona de la CNA I (Bq/l)

Período	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
1º trimestre	< 0,2	< 0,02	< 0,03
2º trimestre	< 0,5	< 0,01	0,04
3º trimestre	< 0,4	< 0,01	0,09
4º trimestre	< 0,8	< 0,02	< 0,03

### Depósito de actividad en pasto de la zona de la CNA I (Bq/m<sup>2</sup>)

Período	cobalto 60	yodo 131	cesio 137
1° trimestre	< 0,4	< 0,7	< 1,1
2° trimestre	< 0,2	< 0,3	< 0,4
3° trimestre	< 1,7	< 1,03	< 1,5
4° trimestre	1,05	< 0,7	< 1,1

### Concentración de actividad en alimentos de la zona de la CNA I (Bq/kg)

Especie	2° trimestre		3° trimestre		4° trimestre	
	cesio 137	estroncio 90	cesio 137	estroncio 90	cesio 137	estroncio 90
Lechuga	< 0,02	0,09	< 0,02	7,5 E-2	< 0,05	< 0,03
Zanahoria	< 0,02	< 0,08	----	----	< 0,03	< 0,07
Papa	< 0,03	0,1	----	----	< 0,03	< 0,06
Remolacha	< 0,04	0,19	< 0,03	0,14	< 0,04	< 0,06
Acelga	----	----	< 0,03	7,6 E-2	< 0,03	< 0,08
Naranja	----	----	< 0,02	< 4,3 E-2	< 0,04	< 0,13
Quinoto	----	----	< 0,03	7,1 E-2	----	----
Limón	----	----	< 0,04	0,27	< 0,02	< 0,06
Mandarina	----	----	< 0,02	0,17	----	----
Repollo	----	----	< 0,02	6,9 E-2	< 0,01	< 0,02
Batata	----	----	< 0,04	0,17	< 0,04	< 0,08
Escarola	----	----	< 0,03	9,3 E-2	----	----
Pomelo	----	----	----	----	< 0,02	< 0,04
Cebolla	----	----	----	----	< 0,01	< 0,03
Puerro	----	----	----	----	< 0,04	< 0,06
Cebolla de verdeo	----	----	----	----	< 0,03	< 0,05
Zapallito	----	----	----	----	< 0,02	< 0,03

**Nota:** ---- significa muestra no disponible en ese trimestre.

No se detectó contaminación atribuible al funcionamiento de la central, con excepción de niveles muy bajos de cobalto 60 y cesio 137 en casos puntuales en el sedimento del río Paraná de las Palmas.

El significado radiológico de los resultados obtenidos a partir del monitoreo ambiental realizado en los alrededores de la central nuclear se determina mediante la estimación de las dosis en los miembros del público. Las dosis se calculan para el individuo promedio del grupo crítico, suponiendo que todos los alimentos que se consumen en la zona son de origen local.

Dado que los resultados de las mediciones resultaron, en general, menores que los límites de detección, se calculó una cota superior para la dosis en el grupo crítico, considerando las vías de exposición y condiciones mencionadas precedentemente, la cual resultó menor que 0,005 mSv. Este valor se encuentra muy por debajo del valor límite de dosis establecido en la normativa vigente (1 mSv). Cabe aclarar que en este caso se compara con el límite de dosis para público, dado que los radionucleidos identificados en las muestras ambientales son consecuencia de todas las prácticas que descargan materiales radiactivos al ambiente.

## Central Nuclear Embalse

La Central Nuclear Embalse está ubicada sobre la margen del lago de Embalse de Río Tercero, en el centro-oeste de la provincia de Córdoba.

En la Figura 26 se presenta la ubicación de los puntos de muestreo ambiental en los alrededores de la CNE.

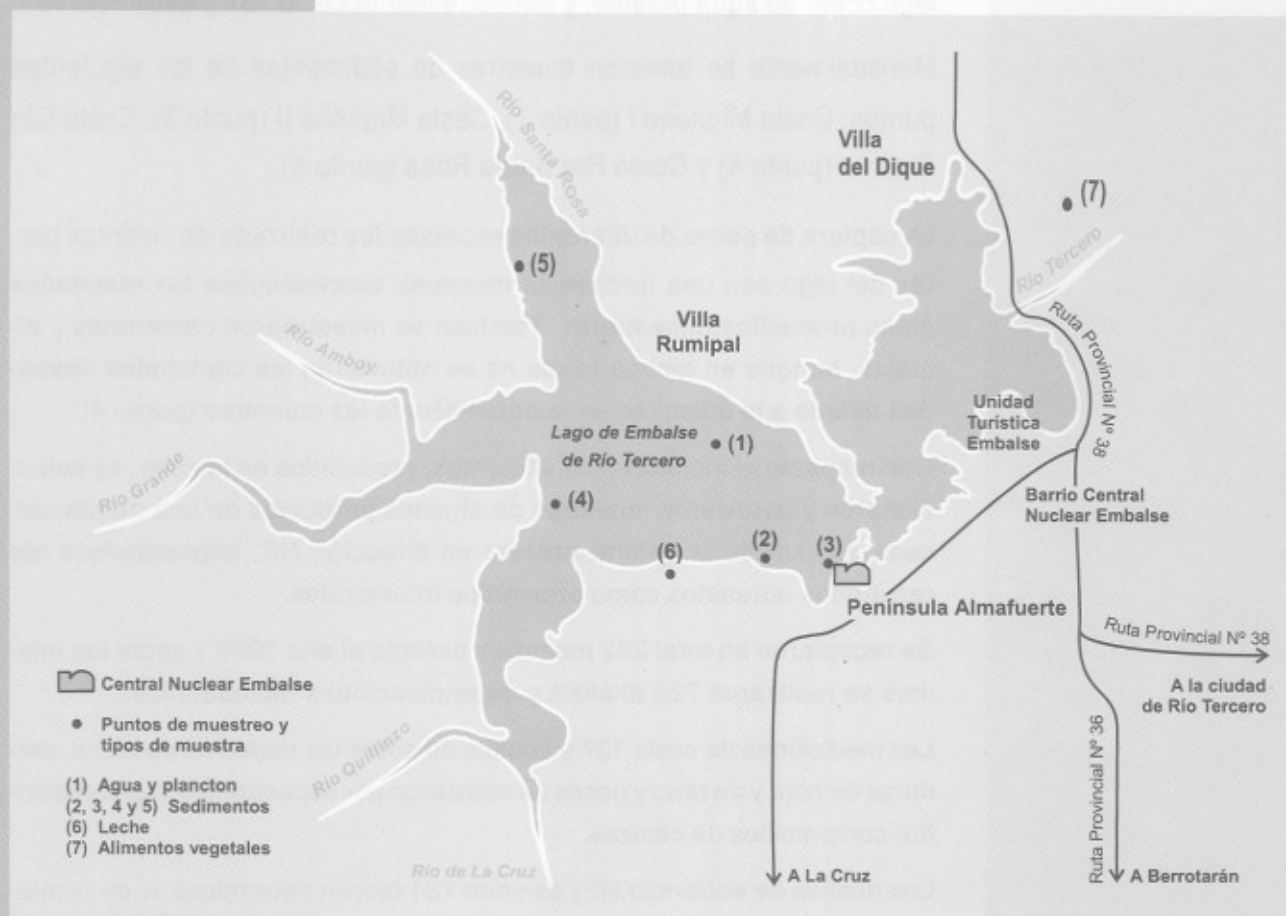


Figura 26

Como se mencionó en el caso de la CNA I, se tomaron muestras representativas de los diferentes compartimentos de la matriz ambiental.

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas líquidas se tomaron muestras de agua del lago, sedimentos, plancton, peces (pejerrey, camarón, mojarra, zabalito, carpa, bagre, tararira y dientudo), y agua potable de la red de distribución de la ciudad de Embalse.

Para las descargas gaseosas, se tomaron muestras de alimentos producidos en la zona de influencia de la central, tales como vegetales (remolacha, repollo, zapallito, acelga, radicheta, lechuga, escarola, puerro, zanahoria, rabanito, maíz, soja, limón y ciruela) y leche; y pasto como indicador del depósito del material radiactivo.

Las muestras de leche fueron obtenidas de un tambo ubicado dentro de un radio de 5 km de la central nuclear y las muestras de pasto fueron obtenidas en el perímetro de la instalación. Las muestras de leche se recolec-

taron en forma semanal, determinándose yodo 131 en forma mensual, y cesio 137 y estroncio 90 trimestralmente.

Las muestras de agua del lago y plancton fueron tomadas de la estación Confluencia (punto 1) con frecuencia mensual. Las muestras de agua potable se tomaron de una vivienda particular, conectada a la red de distribución domiciliaria de la ciudad de Embalse, con una frecuencia de muestreo mensual. Mensualmente se determinó tritio, tanto en agua del lago como en agua potable, y trimestralmente cesio 137 y estroncio 90.

Mensualmente se tomaron muestras de sedimentos de los siguientes puntos: Costa Mignone I (punto 2), Costa Mignone II (punto 3), Costa Río Grande (punto 4) y Costa Río Santa Rosa (punto 5).

La captura de peces de diferentes especies fue realizada de distintas partes del lago con una frecuencia mensual, expresándose los resultados como promedios trimestrales. También se muestrearon camarones y almejas, aunque en ambos casos no se obtuvieron las cantidades deseadas debido a la dificultad en la obtención de las muestras (punto 4).

Con respecto al monitoreo de alimentos, producidos en la zona, se seleccionaron y obtuvieron muestras de algunos productos de una quinta ubicada a 5 km de la central nuclear en dirección NE, expresándose los resultados obtenidos como promedios trimestrales.

Se recogieron en total 242 muestras durante el año 1996 y sobre las mismas se realizaron 725 análisis y determinaciones radioquímicas.

Las mediciones de cesio 137 y cobalto 60 sobre las muestras de leche, verduras de hoja y de raíz, y peces se realizaron por espectrometría gamma sobre comprimidos de cenizas.

Los niveles de estroncio 90 y de yodo 131 fueron determinados de la misma forma que se describió en el caso de la CNA I.

Los valores de actividad medidos en las muestras mencionadas se pueden observar en los siguientes cuadros.

Concentración de actividad en agua del lago de Embalse (Bq/l)				
Período	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Enero	300			
Febrero	200	< 1,2 E-3	< 1,4 E-3	< 7,5 E-4
Marzo	250			
Abril	120			
Mayo	130	< 2,7 E-3	< 2,2 E-3	< 1,1 E-3
Junio	510			
Julio	640			
Agosto	560	< 1,3 E-3	< 1,0 E-3	< 2,7 E-3
Setiembre	990			
Octubre	990			
Noviembre	870	< 1,0 E-3	< 1,0 E-3	< 2,8 E-4
Diciembre	780			

**Nota:** Las mediciones de cesio, cobalto y estroncio se realizaron sobre muestras trimestrales.

**Concentración de actividad en sedimentos del lago de Embalse de Río Tercero (Bq/kg)**

Período	Punto	cesio 137	cobalto 60
1° trimestre	2	2,4	< 0,3
	3	2,1	< 0,5
	4	< 0,6	< 0,5
	5	4,8	< 0,6
2° trimestre	2	< 1,3	< 0,9
	3	3,3	< 1,2
	4	2,9	< 0,5
	5	1,3	< 0,8
3° trimestre	2	< 1,0	< 0,6
	3	< 1,3	< 0,7
	4	< 1,2	< 0,8
	5	< 1,2	< 0,7
4° trimestre	2	< 1,2	< 0,6
	3	< 1,0	< 0,7
	4	< 1,2	< 0,9
	5	< 1,2	< 0,9

**Concentración de actividad de plancton extraído del lago de Embalse de Río Tercero (Bq/l)**

Período	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
1° trimestre	< 9,0 E-4	< 6,0 E-4	1,7 E-4
2° trimestre	< 3,6 E-4	< 2,4 E-4	1,8 E-4
3° trimestre	< 1,7 E-4	< 1,3 E-4	< 9,5 E-5
4° trimestre	< 1,8 E-4	< 1,3 E-4	< 1,0 E-4

**Concentración de actividad en agua potable de la ciudad de Embalse (Bq/l)**

Período	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
1° trimestre	100	< 9,4 E-3	< 7,8 E-4	< 4,2 E-2
2° trimestre	130	< 5,5 E-3	< 3,5 E-4	5,8 E-3
3° trimestre	490	< 2,5 E-3	< 2,0 E-4	4,0 E-3
4° trimestre	900	< 2,0 E-3	< 2,0 E-4	< 1,2 E-3

**Concentración de actividad en leche de la zona de la CNE (Bq/l)**

Período	cesio 137	estroncio 90	yodo 131
1° trimestre	< 0,03	5,5 E-2	< 0,25
2° trimestre	< 0,01	6,9 E-2	< 0,95
3° trimestre	< 0,02	< 4,9 E-2	< 0,47
4° trimestre	< 0,01	4,0 E-2	< 0,40

**Depósito de actividad en pasto de la zona de la CNE (Bq/m<sup>2</sup>)**

Período	cesio 137	cobalto 60	yodo 131
2° trimestre	< 10,6	< 6,6	< 5,4
3° trimestre	< 20,0	< 10,0	< 11,6
4° trimestre	< 20,0	< 4,3	< 5,6

**Nota:** No se realizaron muestreos durante el primer trimestre.

### Concentración de actividad en alimentos de la zona de la CNE (Bq/kg)

Período	2º trimestre		3º trimestre		4º trimestre	
	cesio 137	estroncio 90	cesio 137	estroncio 90	cesio 137	estroncio 90
Repollo	< 0,06	0,03	< 0,02	0,14	< 0,03	0,17
Acelga	< 0,06	0,31	----	----	< 0,03	< 0,09
Radicheta	< 0,09	0,1	< 0,06	----	----	----
Maíz	----	----	< 0,02	0,18	----	----
Limón	----	----	< 0,04	0,19	----	----
Coliflor	----	----	< 0,07	0,26	----	----
Zanahoria	----	----	< 0,04	< 0,06	----	----
Lechuga	----	----	< 0,04	0,18	< 0,03	< 0,06
Escarola	----	----	< 0,04	0,27	----	----
Puerro	----	----	< 0,1	0,55	----	----
Rabanito	----	----	----	0,26	< 0,04	< 0,04
Cebolla de verdeo	----	----	----	----	< 0,02	< 0,05
Remolacha	----	----	----	----	< 0,03	< 0,09
Ciruela	----	----	----	----	< 0,02	< 0,06
Soja	----	----	----	----	< 0,14	< 0,25
Pepino	----	----	----	----	< 0,02	< 0,02
Zapallito largo	----	----	----	----	< 0,04	< 0,03
Zapallito redondo	----	----	----	----	< 0,01	< 0,03

### Concentración de actividad en peces del lago de Embalse (Bq/kg)

Período	1º trimestre			2º trimestre			3º trimestre			4º trimestre		
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Sabalito	< 0,08	< 0,07	< 0,26	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Mojarra	< 0,08	< 0,05	< 0,21	0,13	< 0,05	0,21	----	----	----	0,13	< 0,05	0,18
Pejerrey	0,16	< 0,06	0,36	0,18	< 0,06	0,21	0,02	< 0,05	0,19	0,11	< 0,05	0,18
Carpa	< 0,06	< 0,05	0,23	< 0,07	< 0,06	0,32	< 0,05	< 0,04	0,32	0,05	< 0,03	0,14
Camarón	< 0,1	< 0,07	0,47	----	----	----	< 0,1	< 0,08	0,78	----	----	----
Bagre	----	----	----	0,16	< 0,05	0,22	0,17	< 0,03	0,09	----	----	----
Tararira	----	----	----	----	----	----	0,3	< 0,05	0,15	----	----	----
Dientudo	----	----	----	----	----	----	0,17	< 0,06	0,15	0,09	< 0,04	0,15

**Nota:** ---- significa muestra no disponible durante ese trimestre.

No se detectó la presencia de radionucleidos en el ambiente atribuibles al funcionamiento de la central nuclear, con excepción del tritio en las muestras de agua y niveles muy bajos de cobalto 60 y cesio 137 en muestras puntuales de sedimentos del lago de Embalse de Río Tercero.

La presencia de tritio en el agua del lago se debe a la descarga de efluentes generados en los procesos de purificación y desgasado de agua del circuito primario de refrigeración del reactor. En el caso que una persona ingiriera, durante todo el año, agua del lago con una concentración de tritio igual al valor máximo medido, recibiría una dosis anual de 8  $\mu$ Sv, valor muy inferior al valor límite de dosis para público establecido en la normativa vigente. Cabe aclarar que el nivel de concentración de tritio en el agua del lago está relacionado con las variaciones estacionales del nivel de agua del embalse, pasando por un valor máximo de concentración de tritio en los meses de primavera



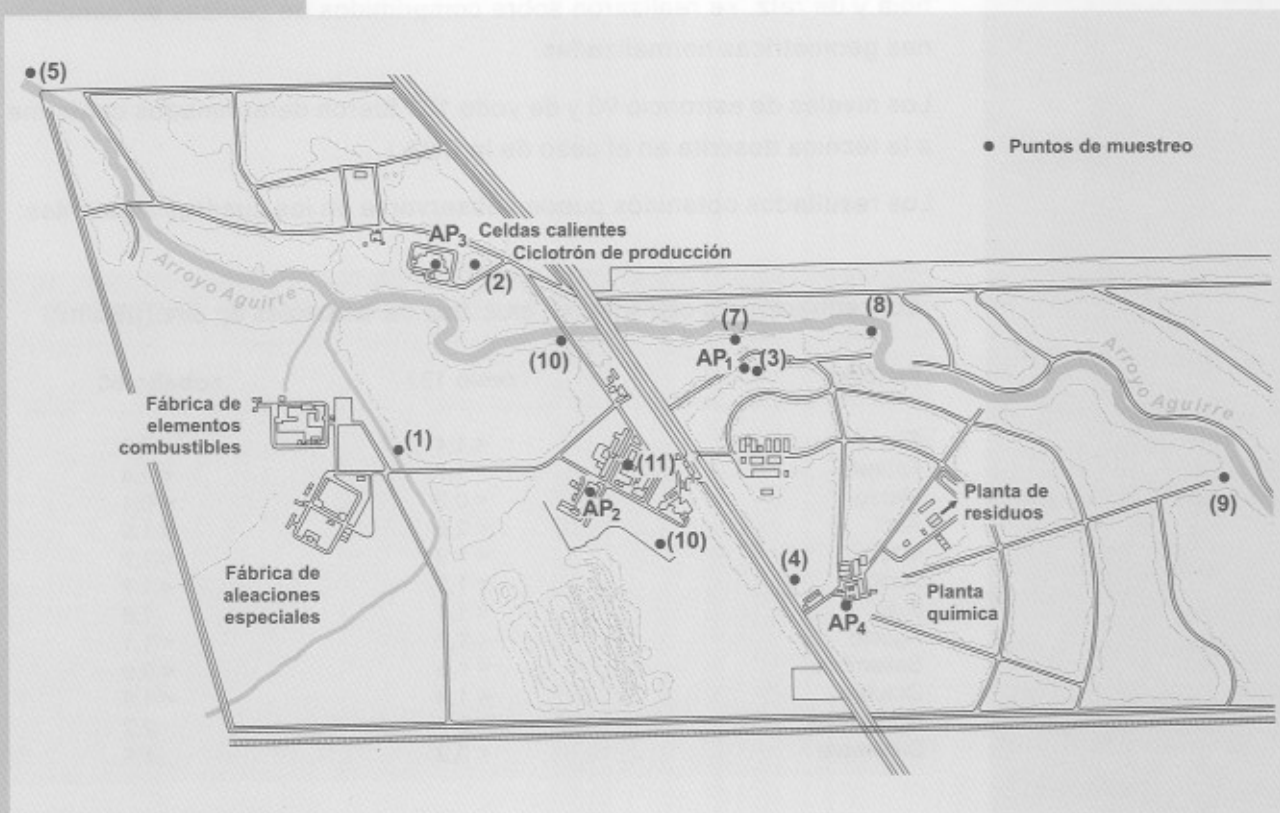
y un valor mínimo durante los meses de verano y comienzo del otoño, cuando la cota superior del lago alcanza sus valores máximos.

La dosis al grupo crítico estimada en base a la exposición a las vías críticas correspondientes a los radionucleidos identificados en las muestras recogidas, resultó menor de  $7,7 \times 10^{-3}$  mSv, valor muy por debajo del límite de dosis establecido en la normativa vigente.

## Centro Atómico Ezeiza

El Centro Atómico Ezeiza de la CNEA está ubicado en la localidad de Ezeiza, provincia de Buenos Aires. Las principales instalaciones que componen este centro son: el RA 3, reactor de producción de radioisótopos e investigación; la Planta de producción de radioisótopos para uso médico e industrial, la Fábrica de fuentes selladas de cobalto 60, la Planta de producción de molibdeno 99 por fisión; la Planta de residuos radiactivos de baja actividad y la Fábrica de elementos combustibles nucleares (CONUAR S.A.).

La **Figura 27** muestra la ubicación de los puntos en los que se realiza el muestreo correspondiente al control ambiental en los alrededores del Centro Atómico Ezeiza.



**Figura 27**

Como se mencionó en el caso de las centrales nucleares, se tomaron muestras representativas de los diferentes compartimentos de la matriz ambiental, en puntos ubicados en los alrededores del Centro atómico.

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas gaseosas se tomaron muestras de aire, alimentos vegetales, leche y pasto.

Para las descargas líquidas se tomaron muestras de agua potable del CAE, agua y sedimentos del arroyo Aguirre.

Las muestras de depósito se recogieron trimestralmente y el muestreo de aerosoles en aire se realizó en forma semanal (punto 11).

Las muestras de leche fueron obtenidas de un tambo de la zona ubicado a 3 km del Centro atómico, en dirección oeste, y las muestras de pasto fueron obtenidas de diferentes puntos, también dentro de un radio de los 3 km de la central (punto 1, 2, 3 y 4). Las muestras de leche se recolectaron en forma semanal, determinándose los niveles de cesio 137 y estroncio 90 trimestralmente.

Las muestras de agua y sedimentos del arroyo Aguirre fueron tomadas en forma mensual, antes y después del Centro atómico (puntos 5, 6, 7, 8, 9). También se realizó el monitoreo de los tanques de agua potable de dicho centro (puntos AP1, AP2, AP3 y AP4).

Con respecto al muestreo de vegetales, se tomaron muestras de una quinta ubicada a 3 km del Centro atómico, en dirección SO, expresándose los resultados trimestralmente.

Las mediciones de las muestras correspondientes a leche, verduras de hoja y de raíz, se realizaron sobre comprimidos de cenizas en condiciones geométricas normalizadas.

Los niveles de estroncio 90 y de yodo 131 fueron determinados conforme a la técnica descrita en el caso de la CNA I.

Los resultados obtenidos pueden observarse en los cuadros siguientes:

Concentración de actividad en muestras de aerosoles en aire ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )		
Período	cesio 137	cobalto 60
Enero	< 1,4	< 0,9
Febrero	< 1,7	< 1,4
Marzo	< 0,2	< 0,1
Abril	< 2,6	< 1,9
Mayo	< 1,9	< 1,9
Junio	< 1,2	< 1,7
Julio	< 1,4	1,8
Agosto	< 1,6	< 1,1
Setiembre	< 1,3	< 0,9
Octubre	< 1,3	< 1,6
Noviembre	< 2,5	2,2
Diciembre	< 0,9	1,8

### Concentración de actividad en leche de la zona del CAE (Bq/l)

Período	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	yodo 131
1º trimestre	< 0,02	< 0,02	< 0,03	< 0,30
2º trimestre	< 0,02	< 0,01	0,02	< 0,20
3º trimestre	< 0,01	< 0,02	< 0,06	< 0,45
4º trimestre	< 0,01	< 0,02	< 0,03	< 0,30

### Depósito de actividad en el CAE (Bq/m<sup>2</sup>)

Período	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
1º trimestre	0,3	1,1	< 0,054
2º trimestre	< 0,2	0,2	< 0,054
3º trimestre	0,1	0,4	0,067
4º trimestre	0,0	0,4	< 0,060

### Concentración de actividad en agua potable del CAE (Bq/l)

Período	1º trimestre			2º trimestre			3º trimestre			4º trimestre		
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
AP1	<4,0 E-3	<4,0 E-3	----	<1,0 E-3	<8,7 E-4	<7,2 E-4	<1,6 E-3	<1,3 E-3	9,3 E-4	<3,2 E-3	<3,0 E-3	<8,0 E-4
AP2	<7,0 E-3	<4,0 E-3	----	<2,0 E-3	<1,7 E-3	<7,0 E-4	3,5 E-3	4,6 E-3	<7,0 E-4	0,13	<0,05	0,18
AP3	<6,5 E-3	<4,5 E-3	----	<2,5 E-3	<1,7 E-3	<7,0 E-4	<1,8 E-3	<1,8 E-3	1,4 E-4	0,11	<0,05	7,18
AP4	<1,0 E-3	<7,5 E-3	----	<2,0 E-3	<1,7 E-3	<7,4 E-4	<2,3 E-3	<1,5 E-3	<7,1 E-4	0,09	<0,04	7,15

### Concentración de actividad en agua del arroyo Aguirre (Bq/l)

Período	1º trimestre		2º trimestre		3º trimestre		4º trimestre	
	cesio 137	cobalto 60	cesio 137	cobalto 60	cesio 137	cobalto 60	cesio 137	cobalto 60
5	< 0,1	< 0,5	< 1,2	< 1,1	< 1,9	< 1,0	< 1,2	< 1,0
6	----	----	< 0,6	< 0,8	< 0,8	< 0,4	< 1,3	< 1,3
7	< 0,1	< 0,5	< 1,2	< 0,4	< 1,5	< 0,5	< 1,4	< 1,8
8	----	----	----	----	< 0,2	< 0,8	< 1,5	< 1,8
9	< 0,5	< 0,3	< 1,0	< 0,3	< 0,5	< 0,5	< 1,2	< 2,1

En el plan de monitoreo efectuado durante el año 1996 se recolectaron 430 muestras y se efectuaron sobre las mismas 1290 determinaciones de los distintos nucleidos de interés.

Al igual que en el caso de las centrales nucleares, no se detectaron radio-nucleidos en el ambiente que pudieran atribuirse al funcionamiento de este Centro atómico, con excepción en algunos casos puntuales, tales como, yodo 131 en algunas muestras de aire y cesio 137 en el sedimento del arroyo Aguirre.

### Concentración de actividad en alimentos de la zona del CAE (Bq/kg)

Período	2º trimestre		3º trimestre		4º trimestre	
	cesio 137	estroncio 90	cesio 137	estroncio 90	cesio 137	estroncio 90
Especies						
Acelga	< 0,02	0,12	< 0,02	< 0,06	< 0,03	< 0,07
Lechuga	< 0,03	0,16	----	----	----	----
Repollo	< 0,02	0,04	----	----	< 0,01	< 0,03
Berenjena	< 0,01	0,04	----	----	----	----
Radicheta	< 0,04	0,22	< 0,04	0,10	< 0,02	< 0,04
Puerro	----	----	< 0,02	< 0,10	----	----
Espinaca	----	----	< 0,05	< 0,10	----	----
Zapallito	----	----	----	----	< 0,02	< 0,03
Remolacha	----	----	----	----	< 0,02	< 0,05
Pepino	----	----	----	----	< 0,01	< 0,02

### Concentración de actividad en sedimentos del arroyo Aguirre\*

Período	1º trimestre			2º trimestre			3º trimestre			4º trimestre		
	cesio 137	cobalto 60	uranio natural	cesio 137	cobalto 60	uranio natural	cesio 137	cobalto 60	uranio natural	cesio 137	cobalto 60	uranio natural
5	< 1,7	< 0,9	1,8	< 1,0	< 0,5	2,1	1,6	< 0,8	3,4	4,8	11,0	1,9
6	----	----	----	7,5	11,5	8,1	4,6	12,5	3,5	5,4	7,0	2,6
7	7,7	3,5	8,7	21,9	6,0	4,2	46,1	6,0	5,0	23,0	2,4	4,0
8	----	----	----	----	----	----	60,6	34,0	4,8	13,7	10,1	4,9
9	188,0	16,0	57,0	242,2	35,9	11,1	240,9	10,1	12,5	150,0	14,1	53,0

\* Valores expresados en Bq/kg para cesio 137 y cobalto 60, y µg/g para uranio natural.

La dosis en el grupo crítico, obtenida en base a los radionucleidos identificados en las muestras recogidas, resultó menor que  $1,4 \times 10^{-3}$  mSv. Este valor se encuentra tres órdenes de magnitud por debajo del límite de dosis para el público, 1 mSv.

Cabe aclarar que, debido a las distintas series de ensayos de armas nucleares en la atmósfera que se efectuaron entre las décadas del '40 y del '70 existe un importante inventario de productos de fisión en la atmósfera, en particular, de estroncio 90. Por lo tanto, es natural que en los distintos tipos de muestras de alimentos se haya detectado la presencia de estroncio 90, como puede apreciarse en los cuadros anteriores.

### Complejos minero-fabriles

El ENREN lleva a cabo monitoreos ambientales periódicos en los alrededores de los complejos minero-fabriles, en operación y cerrados, asociados a la explotación y procesamiento del mineral de uranio.

Estos monitoreos se realizan, fundamentalmente, para evaluar el impacto radiológico ambiental debido a la operación de las diferentes instalaciones y poder comparar los niveles hallados con los valores obtenidos tanto en los estudios preoperacionales como en muestras tomadas en lugares sin influencia de la operación de la instalación.

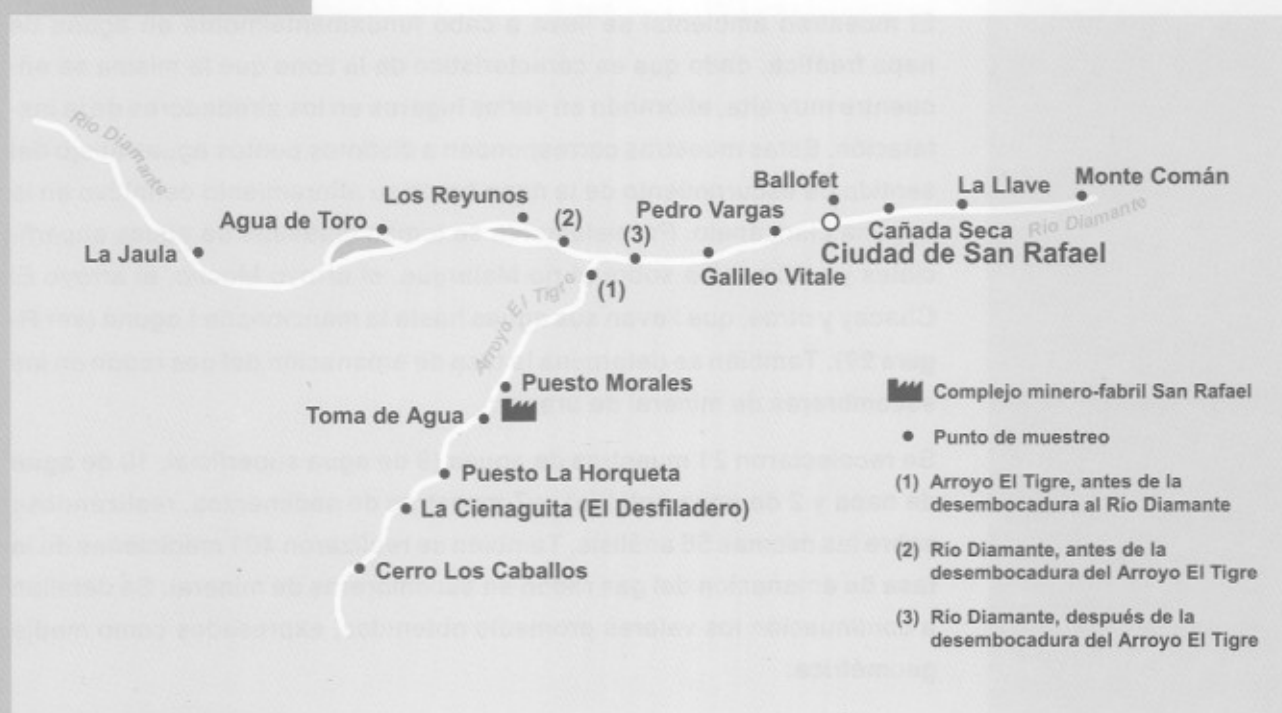
A tal fin se realizan en los alrededores de estas instalaciones, muestreos de aguas superficiales y sedimentos de acuíferos que potencialmente podrían estar influenciados por la operación de las mismas. Paralelamente, se realizan muestreos de aguas de napa freática, si las características de la zona del emplazamiento lo justifican.

Dado que las vías críticas de llegada al hombre son la ingestión de agua y la inhalación, se llevan a cabo las determinaciones de la concentración de uranio natural y de la actividad de radio 226 en muestras de agua y de la tasa de emanación del gas radón en las escombreras de mineral de uranio, ya que estos son los radionucleidos radiológicamente más significativos.

### Complejo minero-fabril "San Rafael"

El Complejo minero-fabril "San Rafael" se encuentra ubicado a unos 35 km al oeste de la ciudad de San Rafael, provincia de Mendoza, emplazado en la denominada "Sierra Pintada". Comenzó su operación en el año 1980 y actualmente es el único complejo en actividad para la obtención de concentrado de uranio.

El muestreo ambiental asociado a la operación de la instalación se lleva a cabo sobre el arroyo Tigre y el río Diamante, efectuándose la toma de muestras de aguas y sedimentos, aguas arriba y abajo de la instalación. En la **Figura 28** se presentan los cursos de agua y la ubicación de los puntos de muestreo.



**Figura 28**

Se recolectaron 21 muestras de aguas, 6 fueron tomadas aguas arriba del complejo, 8 aguas abajo, 5 dentro del predio de la instalación y 2 muestras de agua potable fueron tomadas en la ciudad de San Rafael y en el yacimiento. Se recolectaron también 14 muestras de sedimentos. Se rea-

lizaron, un total de 70 análisis sobre las muestras recolectadas. Se detallan a continuación los valores promedio obtenidos, expresados como media geométrica:

Tipo de muestra	Valor promedio
Uranio natural en aguas	0,0027 mg/l (ppm)
Uranio natural en agua potable (ciudad San Rafael)	0,0009 mg/l (ppm)
Uranio natural en agua potable (Complejo minero-fabril)	0,0027 mg/l (ppm)
Radio 226 en aguas	< 5,2 mBq/l
Radio 226 en agua potable (ciudad San Rafael)	9,8 mBq/l
Radio 226 en agua potable (Complejo minero-fabril)	< 4,3 mBq/l
Uranio natural en sedimentos	1,6 µg/g (ppm)
Radio 226 en sedimentos	32,4 mBq/g
Tasa de emanación de radón	8,35 Bq/m <sup>2</sup> .s

### Ex-Complejo fabril "Malargüe"

El ex-Complejo fabril Malargüe se encuentra ubicado al sur de la provincia de Mendoza, aproximadamente a 1000 m del centro de la ciudad de Malargüe. Comenzó su operación en el año 1954 finalizando la misma en el año 1986. Procesó en principio mineral de uranio procedente de los yacimientos "Huemul" y "Agua Botada", ubicados a unos 40 km al sur de la localidad de Malargüe, procesando luego mineral proveniente de San Rafael. Actualmente se está llevando a cabo las tareas del cierre definitivo de la instalación.

El muestreo ambiental se lleva a cabo fundamentalmente en aguas de napa freática, dado que es característico de la zona que la misma se encuentre muy alta, aflorando en varios lugares en los alrededores de la instalación. Estas muestras corresponden a distintos puntos aguas abajo del sentido de escurrimiento de la napa hasta su afloramiento definitivo en la Laguna Llanquanelo. Paralelamente se toman muestras de aguas superficiales y sedimentos sobre el río Malargüe, el arroyo Mocho, el arroyo El Chacay y otros, que llevan sus aguas hasta la mencionada Laguna (ver **Figura 29**). También se determina la tasa de emanación del gas radón en las escombreras de mineral de uranio.

Se recolectaron 21 muestras de aguas (9 de agua superficial, 10 de agua de napa y 2 de agua potable) y 7 muestras de sedimentos, realizándose sobre las mismas 56 análisis. También se realizaron 401 mediciones de la tasa de emanación del gas radón en escombreras de mineral. Se detallan a continuación los valores promedio obtenidos, expresados como media geométrica:

## Tipo de muestra

## Valor promedio

Uranio natural en aguas superficiales	0,0021 mg/l (ppm)
Uranio natural en aguas (napa freática)	0,0129 mg/l (ppm)
Uranio natural en agua potable (ciudad de Malargüe)	0,0023 mg/l (ppm)
Uranio natural en agua potable (planta Malargüe)	0,0033 mg/l (ppm)
Radio 226 en aguas superficiales	< 4,3 mBq/l
Radio 226 en aguas (napa freática)	< 9,1 mBq/l
Radio 226 en agua potable (ciudad de Malargüe)	< 4,1 mBq/l
Radio 226 en agua potable (planta Malargüe)	< 4,0 mBq/l
Uranio natural en sedimentos	1,5 µg/g (ppm)
Radio 226 en sedimentos	61 mBq/g
Tasa de emanación de radón	8,95 Bq/m <sup>3</sup> .s

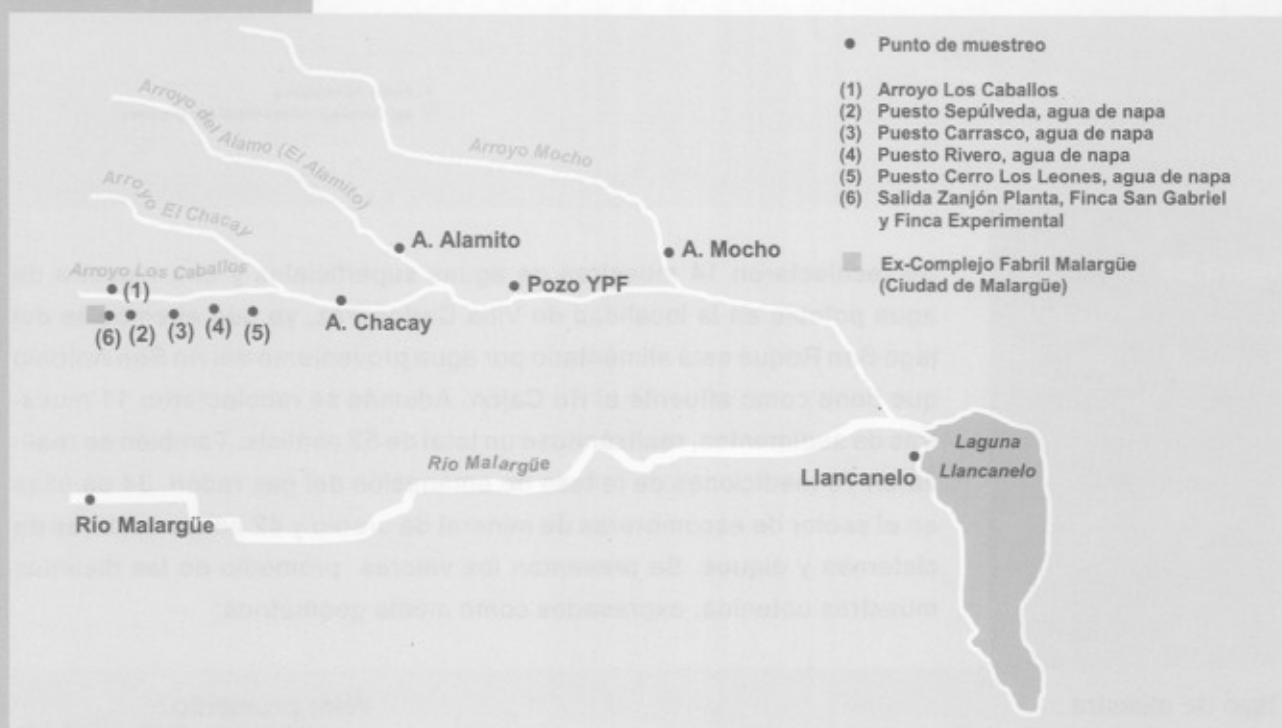
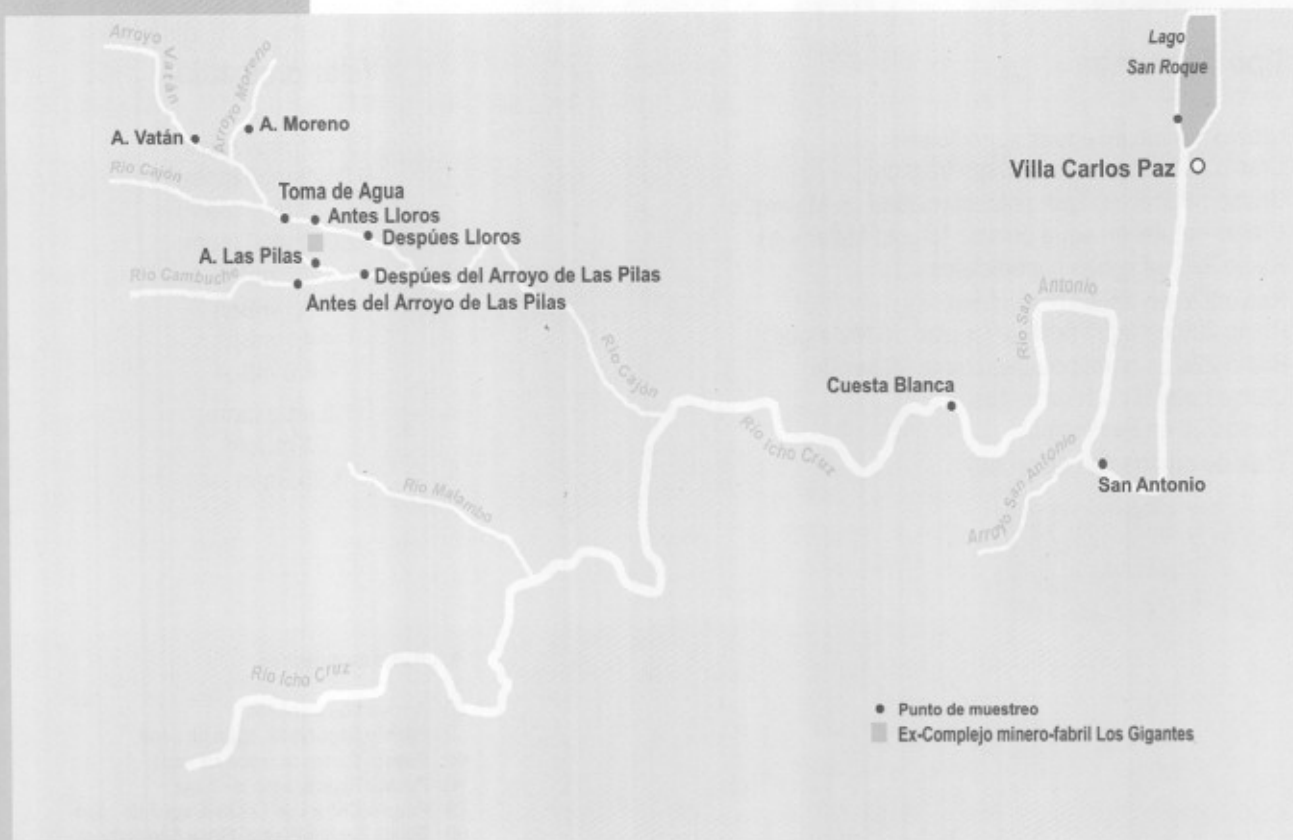


Figura 29

### Ex-Complejo minero-fabril "Los Gigantes"

Se encuentra ubicado en la provincia de Córdoba, en el Cerro "Los Gigantes", al suroeste de la denominada "Pampa de San Luis" en el Departamento de Cruz del Eje, limítrofe con el Departamento de Punilla. Actualmente se encuentra muy avanzada los trabajos para el cierre definitivo de la instalación.

El muestreo ambiental asociado a la instalación se basa fundamentalmente en la recolección de muestras de aguas superficiales y sedimentos sobre el curso de los ríos Cajón y Cambuche. Complementariamente, se muestrean cursos de agua asociados a estos, como los arroyos Vatán y Moreno, y los ríos Icho Cruz y San Antonio. En la **Figura 30** se muestran esquemáticamente los alrededores del Complejo minero-fabril "Los Gigantes", indicándose los puntos de muestreo.



**Figura 30**

Se recolectaron 14 muestras de aguas superficiales y una muestra de agua potable en la localidad de Villa Carlos Paz, ya que el embalse del lago San Roque está alimentado por agua proveniente del río San Antonio que tiene como afluente al río Cajón. Además se recolectaron 11 muestras de sedimentos, realizándose un total de 52 análisis. También se realizaron 76 mediciones de la tasa de emanación del gas radón, 34 de ellas en el sector de escombreras de mineral de uranio y 42 en los sectores de cisternas y diques. Se presentan los valores promedio de las distintas muestras obtenida, expresados como media geométrica:

**Tipo de muestra**

**Valor promedio**

Uranio natural en aguas	0,0012 mg/l (ppm)
Uranio natural en agua potable (Villa Carlos Paz)	0,001 mg/l (ppm)
Radio 226 en aguas	< 34,2 mBq/l
Radio 226 en agua potable (Villa Carlos Paz)	< 4,2 mBq/l
Uranio natural en sedimentos	25,9 µg/g (ppm)
Radio 226 en sedimentos	< 336 mBq/g
Tasa de emanación de radón en colas de mineral	0,76 Bq/m <sup>2</sup> .s
Tasa de emanación de radón (sector cisterna/diques)	1,10 Bq/m <sup>2</sup> .s

**Ex-Complejo minero-fabril "Pichiñán"**

El ex-Complejo minero-fabril "Pichiñán" se encuentra ubicado en la provincia de Chubut, a 40 km de la localidad de Paso de Indios sobre la ruta provincial N° 12.

Este complejo inició su operación en agosto de 1977 finalizando la misma en abril de 1981, fecha en la que se procedió al cierre temporario de la instalación. En principio se procesó mineral proveniente del yacimiento "Los Adobes", ubicado a 40 km al norte del Complejo, y posteriormente del yacimiento "Cerro Cóndor" ubicado 35 km al noroeste del Complejo.



El muestreo correspondiente a esta instalación se lleva a cabo a lo largo del río Chubut, prácticamente desde su nacimiento hasta su desembocadura en el Océano Atlántico, como se indica en la Figura 31.

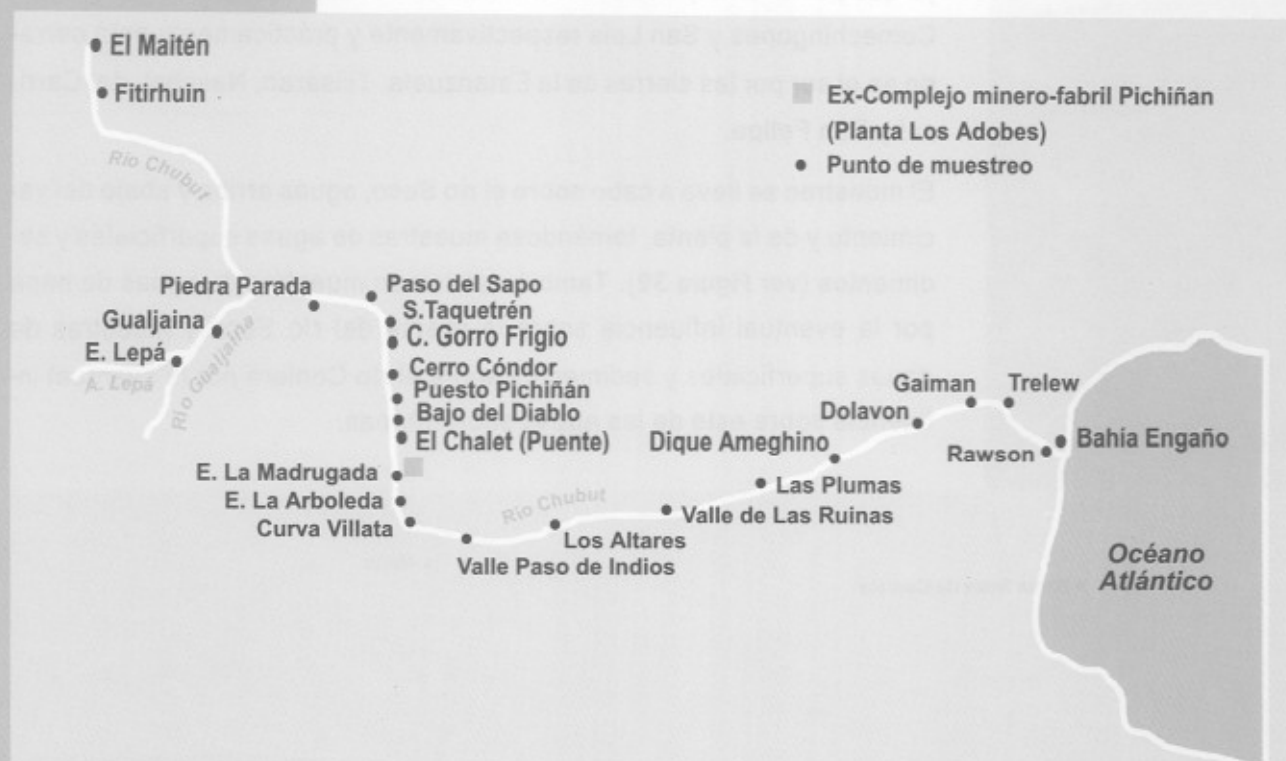


Figura 31

Se tomaron 21 muestras de aguas superficiales, 2 muestras de agua potable y 20 de sedimentos, realizándose sobre las mismas 86 análisis. Se detallan a continuación los valores promedio obtenidos, expresados como media geométrica:

Tipo de muestra	Valor promedio
Uranio natural en aguas superficiales	0,0015 mg/l (ppm)
Uranio natural en agua potable (ciudad de Rawson)	0,0006 mg/l (ppm)
Uranio natural en agua potable (ciudad de Trelew)	0,0012 mg/l (ppm)
Radio 226 en aguas superficiales	9,3 mBq/l
Radio 226 en agua potable (ciudad de Rawson)	13,0 mBq/l
Radio 226 en agua potable (ciudad de Trelew)	4,0 mBq/l
Uranio natural en sedimentos	0,9 µg/g (ppm)
Radio 226 en sedimentos	34,6 mBq/g

### Ex-Complejo minero-fabril "La Estela"

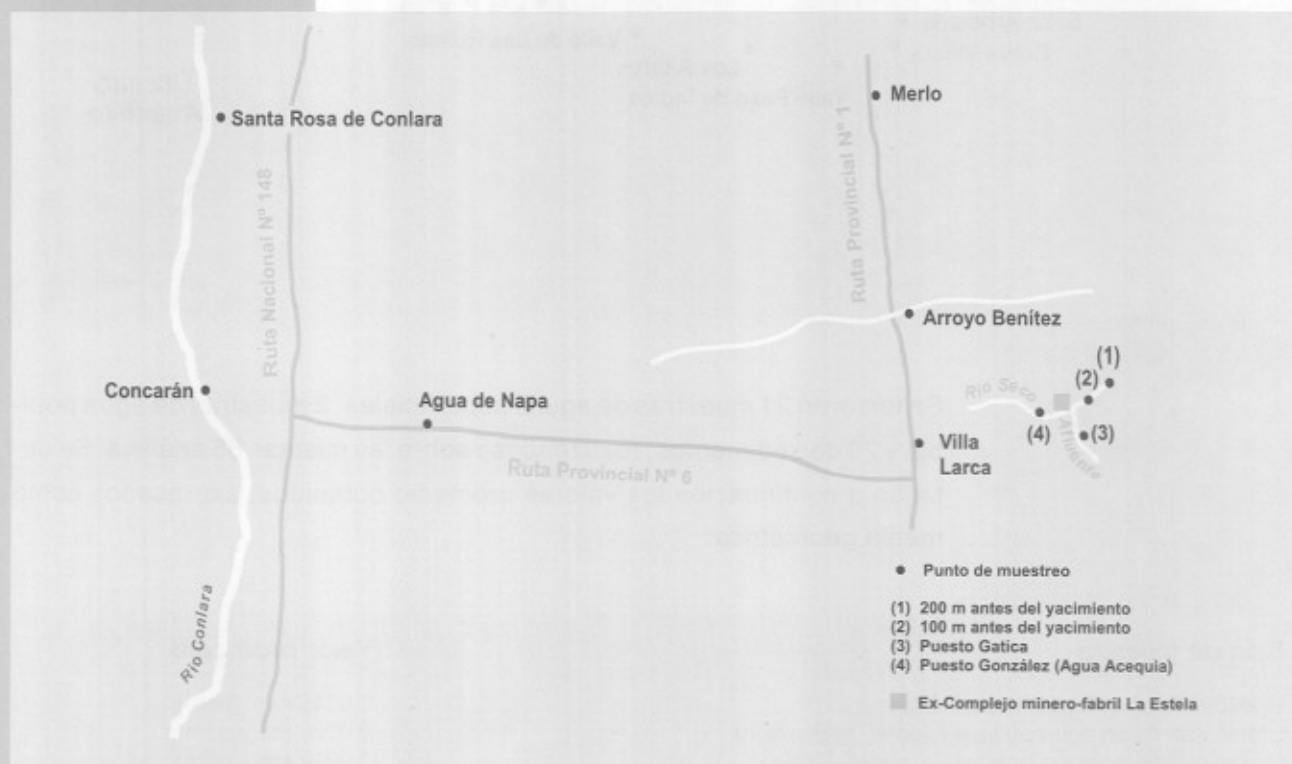
El ex-Complejo minero-fabril "La Estela" operó, desde el año 1982 hasta el año 1991, en el Departamento Chacabuco de la provincia de San Luis. Está emplazado sobre el costado este de la ruta provincial N° 1, a 500 m hacia el norte de Villa Larca y a 30 km al sur de Merlo.

Por razones topográficas y requerimientos de áreas aptas, la planta de tratamiento de mineral está ubicada a 3000 m en línea recta del sector de mina. El yacimiento "La Estela" está ubicado sobre la margen izquierda

del río Seco, aproximadamente a 1200 m sobre el nivel del mar, en el faldeo occidental de la sierra de Comechingones.

El sentido general de circulación de agua subterránea es de sur a norte, ya que por oriente y occidente el valle está enmarcado por las sierras de Comechingones y San Luis respectivamente y prácticamente está cerrado en el sur por las sierras de la Estanzuela, Tilisarao, Naschel, del Carrizal y San Felipe.

El muestreo se lleva a cabo sobre el río Seco, aguas arriba y abajo del yacimiento y de la planta, tomándose muestras de aguas superficiales y sedimentos (ver **Figura 32**). También se toman muestras de aguas de napa por la eventual influencia sobre la misma del río Seco y muestras de aguas superficiales y sedimentos sobre el río Conlara por la eventual influencia sobre este de las aguas subterráneas.



**Figura 32**

Se tomaron 10 muestras de agua y 3 de sedimentos, determinándose en ambos tipo de muestra la concentración de uranio natural y radio 226. Se realizaron también 66 mediciones de la tasa de emanación del gas radón sobre las escombreras de mineral. Se detallan a continuación los valores promedios obtenidos, expresados como media geométrica:

Tipo de muestra	Valor promedio
Uranio natural en aguas	0,019 mg/l (ppm)
Radio 226 en aguas	6,2 mBq/l
Uranio natural en sedimentos	8,6 µg/g (ppm)
Radio 226 en sedimentos	< 59 mBq/g
Tasa de emanación de radón en colas de mineral	1,46 Bq/m <sup>2</sup> .s

### Ex-Complejo minero-fabril "Los Colorados"

El ex-Complejo minero-fabril comenzó su actividad en 1993, finalizando la misma en el año 1996. Está ubicado en el Departamento Independencia, en la provincia de La Rioja. La planta de trituración de mineral, lixiviación y concentración de uranio está ubicada cerca del yacimiento, en un predio de 90 hectáreas que corresponden a la concesión de la mina Los Colorados otorgada por la Dirección de Minería de la provincia de La Rioja.

Debido a las características climatológicas de la zona los cursos de agua en gran parte del año se encuentran secos, hecho por el cual el muestreo se ve limitado.

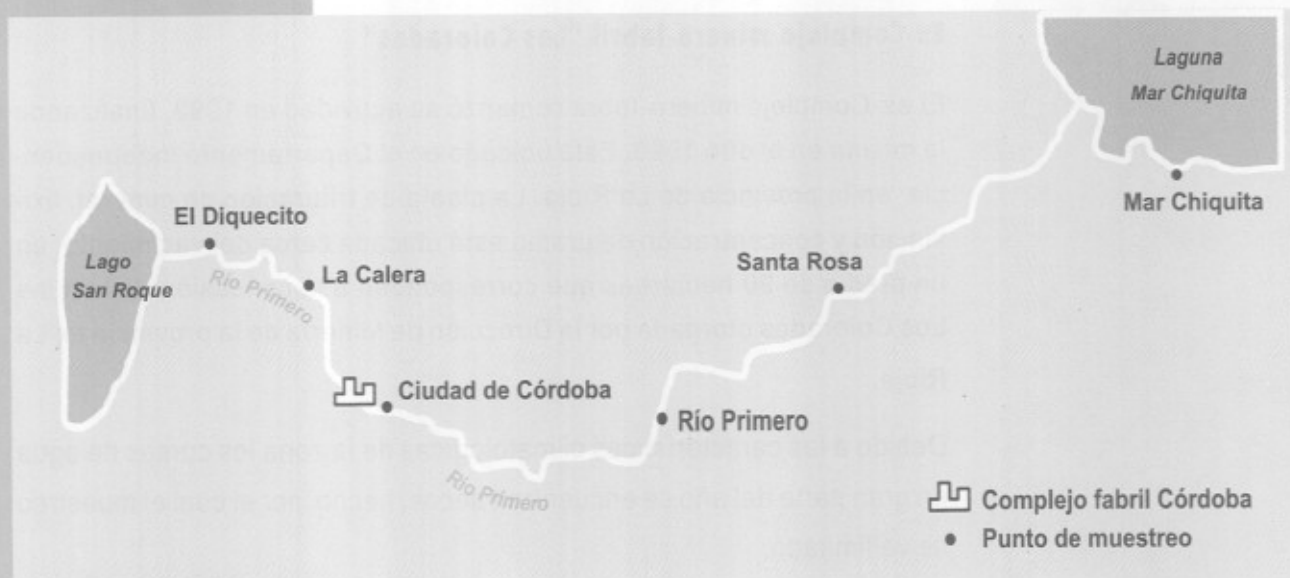
Se tomaron 5 muestras de aguas superficiales y 3 muestras de sedimentos, realizándose 16 determinaciones sobre las mismas. Se llevaron a cabo también 71 mediciones de la tasa de emanación del gas radón en escombreras de mineral. Se detallan a continuación los valores promedios obtenidos, expresados como media geométrica:

Tipo de muestra	Valor promedio
Uranio natural en aguas	0,0104 mg/l (ppm)
Radio 226 en aguas	< 22,4 mBq/l
Uranio natural en sedimentos	2,9 µg/g (ppm)
Radio 226 en sedimentos	< 53 µg/g (ppm)
Tasa de emanación de radón en colas de mineral	1,36 Bq/m <sup>2</sup> .s

### Complejo fabril "Córdoba"

Esta Planta está ubicada en la ciudad de Córdoba, en la zona conocida como "Alta Córdoba", y fue creada con el objeto de determinar la posibilidad de obtención, en escala industrial, de concentrados de uranio. A partir de 1982, se iniciaron las operaciones de las líneas de purificación y conversión del concentrado de uranio proveniente de los diferentes Complejos mineros-fabriles.

El muestreo para evaluar el impacto ambiental debido a la operación de esta instalación se basa en la toma de muestras de aguas superficiales y sedimentos sobre el río Primero, aguas arriba y abajo de la instalación, como puede observarse en la **Figura 33**.



**Figura 33**

Se detallan a continuación los valores promedio obtenidos, expresados como media geométrica:

Tipo de muestra	Valor promedio
Uranio natural en aguas	0,0059 mg/l (ppm)
Radio 226 en aguas	< 37,4 mBq/l

## Conclusiones

En base a los valores medidos sobre las muestras obtenidas durante el monitoreo ambiental en los alrededores de las diferentes complejos minero-fabriles, se concluye que no se observan diferencias estadísticamente significativas entre los niveles determinados aguas arriba y aguas abajo de las instalaciones. Por otra parte, los valores encontrados se encuentran muy por debajo de los valores de referencia para agua aceptados por la Autoridad Regulatoria: 1,0 mg/l (ppm) para uranio natural y 180 mBq/l para radio 226.

## Monitoraje ambiental no relacionado con las instalaciones nucleares

### Fuentes artificiales

Con el propósito de estudiar la precipitación radiactiva presente, debido al ensayo de armas nucleares en la atmósfera realizadas en el pasado se realizan muestreos fuera de la zona de influencia de las instalaciones nucleares. Se determinaron los niveles de concentración de radionucleidos de interés en muestras de aire, leche, dieta y alimentos varios. Las mues-

tras de frutas y verduras de diferentes especies fueron adquiridas en el Mercado Central de Buenos Aires.

A partir del segundo semestre de 1996, se realiza el muestreo de aerosoles. El sistema muestreador tiene similares características al existente en el Centro Atómico Ezeiza, y se encuentra ubicado en la Sede Central del ENREN en la Avenida Libertador 8250, Capital Federal.

Se analizaron también los distintos componentes de la dieta promedio semanal del comedor del CAE, cuya provisión es adquirida de diferentes bocas de expendio de Buenos Aires, siendo, por lo tanto, representativa de una dieta estándar del Gran Buenos Aires. Los análisis se llevan a cabo sobre muestras conjuntas trimestrales.

Los niveles de estroncio 90 se determinaron de acuerdo a la técnica mencionada en el caso de la CNA I y el cesio 137 mediante precipitación con fosfomolibdato de amonio y posterior medición con un detector de germanio.

La concentración de actividad medida en las diferentes muestras recolectadas se presenta en los cuadros siguientes:

#### Concentración de actividad en muestras de aerosoles en aire ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )

Período	cesio 137
Agosto	< 3,1
Setiembre	< 1,0
Octubre	< 0,7
Noviembre	< 2,0
Diciembre	< 1,0

#### Concentración de actividad en leche (Bq/l)

Período	cesio 137	estroncio 90
1° trimestre	< 0,02	0,09
2° trimestre	< 0,01	0,07
3° trimestre	< 0,01	0,07
4° trimestre	< 0,01	< 0,03

### Concentración de actividad en alimentos adquiridos en el Mercado Central de Buenos Aires (Bq/kg)

Período	3º trimestre		4º trimestre	
	cesio 137	estroncio 90	cesio 137	estroncio 90
Papa	< 0,03	0,1	< 0,03	< 0,05
Batata	< 0,06	0,15	----	----
Zanahoria	< 0,02	0,1	----	----
Calabaza	< 0,04	0,1	----	----
Naranja	< 0,05	0,15	< 0,01	< 0,03
Chaucha	< 0,02	0,09	----	----
Zapallito	< 0,02	0,05	< 0,02	< 0,08
Pimiento	< 0,02	< 0,05	----	----
Pera	< 0,01	< 0,03	----	----
Manzana	< 0,01	< 0,05	< 0,01	< 0,03
Tomate	----	< 0,05	----	----
Espinaca	----	----	< 0,05	< 0,09
Remolacha	----	----	< 0,02	< 0,06
Repollo	----	----	< 0,05	< 0,03
Durazno	----	----	< 0,02	< 0,03
Mandarina	----	----	< 0,02	< 0,09

**Nota:** ---- significa muestra no disponible en el trimestre.

El muestreo iniciado en julio 1996.

### Concentración de actividad en muestras de dieta (Bq/kg)

Período	cesio 137	estroncio 90
1º trimestre	< 0,025	< 0,08
2º trimestre	< 0,029	0,11
3º trimestre	< 0,026	0,16
4º trimestre	< 0,04	< 0,09

### Fuentes naturales: medición de radón en viviendas

En los últimos años se ha determinado que la fuente de radiación de origen natural que más contribuye a la dosis efectiva recibida por el ser humano es un gas (incolores, insípido e inodoro) denominado radón. El UNSCEAR ha estimado que el radón y los radionucleidos resultantes de su desintegración -conocidos como hijas del radón- contribuyen con las tres cuartas partes de la dosis efectiva recibida por el hombre debida a fuentes naturales terrestres, y con, aproximadamente, la mitad de la recibida de la totalidad de las fuentes naturales. La mayor parte de la dosis debida al radón, especialmente en ambientes cerrados, proviene de sus hijas.

El radón se presenta en dos formas principales: el radón 222, uno de los radionucleidos presentes en el proceso de desintegración del uranio 238, y el radón 220 producido en las series de desintegración del torio 232. El radón 222 es unas 20 veces más importante, desde el punto de vista radiológico, que el radón 220. Se trata de radioisótopos de un elemento químico de la familia de los gases nobles. Ambos elementos, el uranio y el torio, están presentes en la corteza terrestre en concentraciones prome-

dio relativamente grandes (muy superiores al oro y al platino, por ejemplo).

El radón fluye del suelo en todas partes de la Tierra, pero sus niveles en el ambiente varían mucho de un lugar a otro. Las concentraciones de radón en el interior de los edificios son, en promedio, unas 8 veces superiores a las existentes en el exterior. Si bien los materiales de construcción contienen elementos radiactivos naturales y suelen ser fuentes de emanación de radón, el terreno en el que se asientan las viviendas es casi siempre la fuente más importante. En países de clima frío, como en el caso de Suecia y Finlandia, donde las viviendas se mantienen cerradas la mayor parte del año y con un mínimo intercambio de aire con el exterior, la concentración de radón supera los 800 Bq/m<sup>3</sup>. Dichos niveles no han sido observados en Argentina.

En el cuadro se indican las localidades del país donde se efectuaron las mediciones, el número de muestras tomadas y el valor medio de la concentración de radón correspondiente a cada una de las ciudades monitoreadas. El valor medio de la concentración de radón, considerando las 975 muestras tomadas en todo el país, resultó ser de 33 Bq/m<sup>3</sup>. En la **Figura 34** se observa la cantidad de viviendas en las que fue medida una determinada concentración de radón.

Concentración de radón en viviendas		
Lugar de muestreo	Número de muestras	Valor promedio (Bq/m <sup>3</sup> )
Corrientes (Corrientes)	124	48,9
San Luis (San Luis)	100	23,3
General Alvear (Mendoza)	100	44,9
Malargüe (Mendoza)	83	44,6
San Rafael (Mendoza)	257	37,1
Capital Federal y Gran Buenos Aires	102	33,6
Córdoba (Córdoba)	94	16,0
Río Hondo y Frías (Santiago del Estero)	66	30,2
Bariloche (Río Negro)	18	35,5
Esquel y Gastre (Chubut)	31	16,0

Cabe recordar que la Norma Básica de Seguridad Radiológica establece que cuando la concentración promedio anual de radón en el interior de las viviendas exceda los 400 Bq/m<sup>3</sup> se deben adoptar medidas para ventilar los ambientes y reducir la concentración del gas radón.

Como se puede observar en el cuadro anterior los valores promedios de las distintas ciudades argentinas no superan los 50 Bq/m<sup>3</sup>, encontrándose solamente muy pocos valores individuales por encima de 200 Bq/m<sup>3</sup> (**Figura 34**).

Por ello, se concluye en base a los resultados obtenidos hasta el momento que en nuestro país los niveles de radón en el interior de viviendas se encuentran dentro de los valores aceptables para la población.

Figura 34

**Monitoreo de radón en viviendas**

