

A black and white photograph of a nuclear power plant. In the foreground, there is a large, dark, stylized graphic element consisting of a thick, curved line that forms a partial circle, with a solid sphere at its top end. The background shows the industrial structures of the power plant, including a tall, cylindrical containment dome and various buildings and piping. The overall scene is somewhat desaturated and has a grainy texture.

CAPÍTULO 7
VIGILANCIA RADIOLÓGICA AMBIENTAL

MONITORAJE AMBIENTAL

DESCARGAS DE MATERIAL RADIATIVO AL AMBIENTE

DOSIS EN EL PÚBLICO

CAPÍTULO 7

**VIGILANCIA RADIOLÓGICA
AMBIENTAL**

La mayor parte de la radiación recibida por la población del mundo proviene principalmente de fuentes naturales, siendo inevitable la exposición a la mayoría de ellas. Durante las últimas décadas, el hombre ha producido artificialmente radionucleidos y ha aprendido a utilizar la energía nuclear con diferentes propósitos, tales como la utilización con fines médicos, la generación de energía eléctrica, la prospección de minerales, etc. Estas fuentes, denominadas artificiales, aumentan la dosis de radiación recibida por los individuos y por la sociedad en su conjunto.

FUENTES NATURALES

La humanidad ha evolucionado en un ambiente naturalmente radiactivo. La Tierra es bombardeada por rayos cósmicos del espacio, y toda la materia contiene algunos rastros de sustancias radiactivas.

Las personas están expuestas a la radiación externa, suma de la radiación cósmica y de la radiación emitida por los radionucleidos naturales existentes en la corteza terrestre, y a la irradiación interna, debida a aquellos radionucleidos naturales incorporados a los alimentos, a las bebidas y presentes en el aire inhalado.

La dosis media anual debida a todas estas fuentes combinadas es alrededor de 2,4 mSv, con grandes variaciones alrededor de ese valor.

Radiación cósmica

La radiación cósmica que llega a las capas superiores de la atmósfera de la Tierra proviene de más allá del sistema solar e incluso de más allá de nuestra galaxia; solo una fracción pequeña proviene del sol.

Consiste, principalmente en: protones, partículas alfa, núcleos pesados, electrones y radiación gamma, con un amplio rango de distribución energética.

La radiación cósmica primaria es alterada sustancialmente en su pasaje a través de la atmósfera, donde la mayor parte de la misma es absorbida antes de que llegue a nivel del mar. Consecuentemente, la altura sobre nivel del mar es el factor principal que influye en las dosis recibidas por las personas.

La dosis media que reciben las personas, a nivel del mar, por radiación cósmica, es aproximadamente 0,4 mSv en un año.

Radiación terrestre

El hombre está expuesto a irradiación externa proveniente de radionucleidos naturales contenidos en suelos y rocas, principalmente potasio 40, rubidio 87 y dos series de elementos radiactivos provenientes de la desintegración del uranio 238 y del torio 232. Los niveles de radiación terrestre dependen de la geología local, del contenido de humedad y de otras condiciones atmosféricas.

La dosis media que las personas reciben por radiación terrestre es aproximadamente 0,5 mSv en un año, pero, hay grandes variaciones alrededor de este promedio; muchas personas reciben diez veces más, y algunas personas que, viviendo en zonas con ciertos tipos de arenas, reciben hasta cien veces el valor promedio.

Debido a las fuentes radiactivas naturales que se encuentran en el aire que respiramos, en el agua que bebemos y en los alimentos que ingerimos, el hombre es irradiado internamente.

Esta dosis interna proviene, casi totalmente, del potasio 40 y del radón 222 y 220 y de sus productos de decaimiento.

El potasio es un componente esencial de todas las células. Un hombre adulto tiene en su cuerpo alrededor de 100 gramos de potasio, del que aproximadamente 16 miligramos corresponde al potasio 40. La dosis promedio recibida por esta fuente de radiación es aproximadamente 0,2 mSv al año, y varía poco de persona a persona.

El radón 222 y sus productos de decaimiento, así como en menor magnitud el radón 220 y sus productos de decaimiento, son las fuentes más importantes de exposición a la radiación para la mayoría de las personas. Los radones provienen del decaimiento del uranio y del torio en la corteza terrestre. Estos gases son emanados de la tierra, a una tasa que depende de diferentes factores tales como: la geología y la condición del suelo, la cobertura vegetal, etc. Al aire libre, se dispersan rápidamente y sus concentraciones, y las dosis resultantes cuando se inhalan, son bajas. Sin embargo, cuando ellos penetran en un edificio, por ejemplo filtrándose a través del suelo, por antiguas cañerías de agua y desagüe, o son emitidos por los radionucleidos naturales contenidos en los materiales de construcción de pisos y paredes, las concentraciones suben a menos que el edificio esté muy bien ventilado. Los radones son químicamente inertes y sólo ligeramente radiactivos, dando dosis directas muy pequeñas. Sin embargo, sus productos de decaimiento radiactivos (principalmente el polonio, bismuto e isótopos del plomo) son radiactivos, y se pegan a las partículas de polvo y gotas de agua. Estos pueden inhalarse y depositarse en la superficie del pulmón el cual, por consiguiente, es irradiado. Un espectro muy amplio de dosis derivan de esta fuente, dependiendo de la geología local, los materiales y métodos de construcción, y de la ventilación de los edificios. La dosis promedio recibida debido a esta fuente de radiación es 1,3 mSv en un año, pero las exposiciones pueden llegar hasta cien veces el valor promedio, y en algunos casos raros y extremos, como por ejemplo algunas casas construidas en terrenos de escombreras de antiguas minas de uranio, la dosis recibida puede ser más de mil veces el valor promedio.

FUENTES ARTIFICIALES

Los usos de la radiación y de los materiales radiactivos se han extendido enormemente, en particular desde el descubrimiento y desarrollo de la fisión nuclear y la disponibilidad de una extensa variedad de radionucleidos artificiales. Muchas personas se han beneficiado de una u otra manera, con los usos de las fuentes artificiales de radiación, como por ejemplo, con los usos médicos, la producción de energía eléctrica, la industria manufacturera, el control en la agricultura. Pero todos estos usos producen exposiciones a la radiación.

Exposición en medicina

En casi todos los países, la medicina es la mayor fuente de exposición a la radiación artificial.

La radiación es utilizada tanto para diagnosticar como para tratar enfermedades. En la mayoría de los países industrializados las radiografías de diagnóstico son la forma de irradiación más común. El uso

de radioisótopos para estudiar procesos en el cuerpo humano y para localizar tumores ha aumentado mucho durante los últimos 30 años. La radiación es, también, uno de los medios fundamentales para combatir el cáncer.

Las dosis individuales debido a exposiciones médicas varían enormemente, aceptándose que, en promedio, cada persona recibe 0,4 mSv por año.

Precipitación radiactiva debida a explosiones nucleares

Los ensayos de armas nucleares llevados a cabo durante la década de 1950 y los primeros años de la década de 1960 liberaron grandes cantidades de materiales radiactivos que se dispersaron en la atmósfera. En la actualidad, la mayor parte de ese material ya se ha depositado sobre la tierra y los océanos. Todos los ensayos de armas nucleares desde 1980, y antes desde el Tratado Parcial de Prohibición de Ensayos de 1963, se han llevado a cabo en el subsuelo y esto, virtualmente, no da lugar a ninguna precipitación radiactiva.

La dosis anual media debida a los ensayos de las armas nucleares llegó a un máximo de aproximadamente 0,1 mSv en 1963-64 y, posteriormente, cayó a menos de un vigésimo de dicho valor.

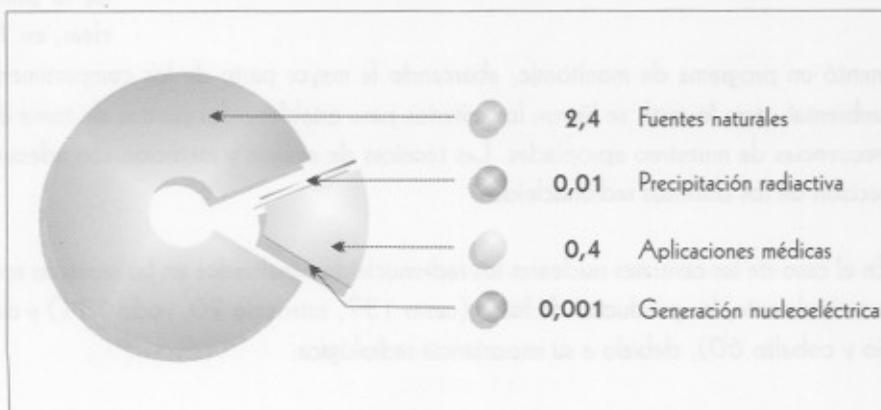
Producción de energía eléctrica

La generación de electricidad en centrales nucleares comprende las distintas etapas de lo que se denomina el ciclo del combustible nuclear. Este ciclo comprende la minería y procesado del uranio, la fabricación de elementos combustibles para reactores, la operación misma de las centrales eléctricas, y el transporte, tratamiento y evacuación de los productos de desecho radiactivos. Todas estas actividades generan descargas de materiales radiactivos al ambiente y producen una dosis de radiación en los miembros del público. Estas dosis son depreciables para los pobladores alejados de las instalaciones nucleares, y pueden llegar hasta dosis de unos décimos de mSv al año, para grupos de personas que viven cerca de unas pocas instalaciones nucleares. El valor promedio es aproximadamente 0,001 mSv por año.

Ciertas actividades humanas pueden producir una exposición incrementada a los radionucleidos naturales. Esto es el caso de la minería del carbón, y de la industria de los fosfatos para el uso en fertilizantes y otros productos.

En la **Figura 1** pueden observarse las diferentes contribuciones a la dosis efectiva media anual debida a fuentes naturales y artificiales de radiación.

Figura 1
Dosis efectiva media anual (mSv)



MONITORAJE AMBIENTAL

La ARN realizó durante 1998 el monitoreo ambiental en los alrededores de las siguientes instalaciones nucleares existente en el país: las centrales nucleares, Atucha I y Embalse, el centro atómico Ezeiza, el complejo fabril San Rafael y la planta conversión de dióxido de uranio y los ex Complejos minero fabriles Malargüe, Pichinán, Los Gigantes, La Estela, Tonco y Los Colorados. La ubicación geográfica de las instalaciones monitoreadas se indica en la **Figura 2**.

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

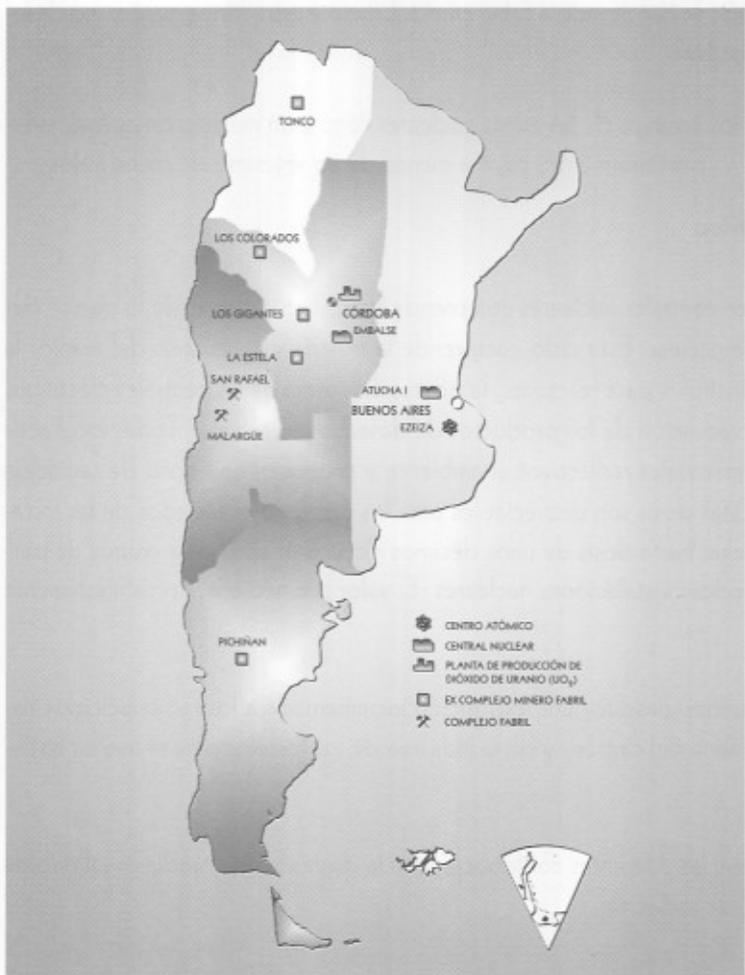


Figura 2
Ubicación geográfica de las instalaciones monitoreadas

MONITORAJE AMBIENTAL ALREDEDOR DE LAS INSTALACIONES NUCLEARES

Desde la puesta en marcha de la primera central nuclear, en 1974, se imple-

mentó 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.

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

Central Nuclear Atucha I

La central nuclear Atucha I (CNA 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.

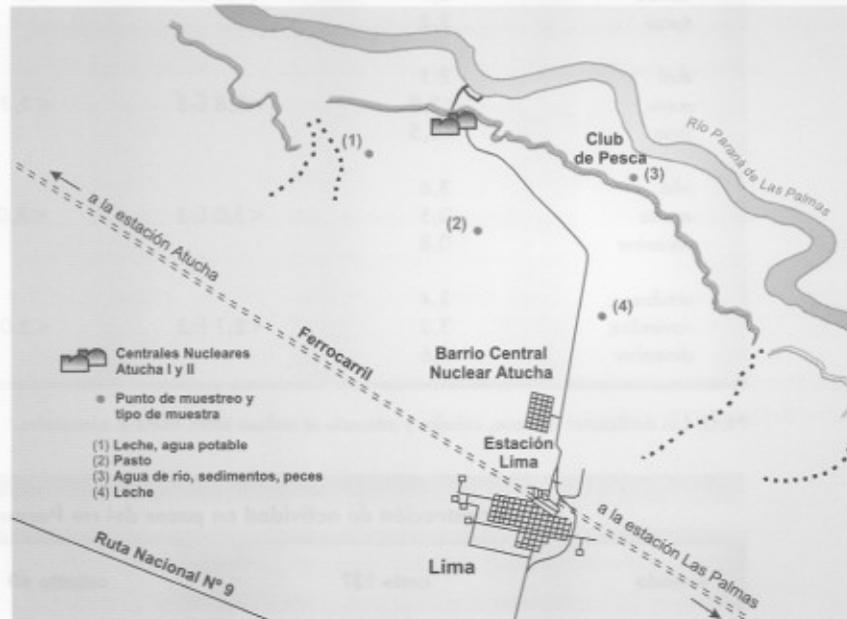
En la **Figura 3** se presenta la ubicación de los puntos de muestreo ambiental en los alrededores de la CNA I.

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

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas a la atmósfera, se tomaron y analizaron muestras de alimentos producidos en la zona, tales como leche y vegetales. El pasto fue analizado como indicador del depósito de material radiactivo. Se tomaron en total 120 muestras en los diferentes puntos de muestreo, sobre las que se realizaron 350 determinaciones y análisis radioquímicos.

Las muestras de agua de río y sedimentos fueron tomadas con una frecuencia mensual, en el Club de Pesca de la zona, a unos 3 km río abajo de la central (punto 3, figura 3). Las muestras de agua potable fueron tomadas de un pozo ubicado dentro de un radio de 5 km de la central (punto 1, figura 3), con una frecuencia mensual. Sobre estas muestras se realizó la determinación de tritio con una frecuencia mensual, y las determinaciones de cesio 137 y estroncio 90 en muestras promediadas trimestralmente.

Figura 3
Alrededores
de la Central
Nuclear Atucha I



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 5 km de la central (puntos 1 y 4, figura 3), determinándose yodo 131 en una muestra mensual, y cesio 137 y cobalto 60 sobre muestras conjuntas trimestrales. Las muestras de pasto fueron recolectadas, en un radio de 5 km de la central (punto 2, figura 3).

Con respecto al monitoreo de alimentos, se seleccionaron los cultivos más próximos a la central y se obtuvieron muestras de algunos productos de quintas, con una frecuencia mensual. Las muestras fueron analizadas expresándose los resultados en forma trimestral.

La determinación de la concentración de cesio 137 en muestras correspondientes a leche, verduras de hoja y de raíz, y peces, se realizó por espectrometría gamma, en condiciones geométricas normalizadas, sobre comprimidos de cenizas de las muestras calcinadas.

La concentración de estroncio 90 fue determinada por una técnica que incluye la calcinación de la muestra, separación del itrio 90 en equilibrio, y medición por centelleo líquido de la radiación Cerenkov emitida.

La determinación de la concentración de yodo 131 se llevó a cabo por precipitación del radionucleido, tanto el que está unido a proteínas como el que está presente en forma iónica, y posterior medición en un detector de germanio hiperpuro. Las mediciones se realizaron sobre muestras que 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	itrio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
enero	1,2			
febrero	0,9	<1,8 E-3	<2,7 E-34	<1,2 E-3
marzo	3,3			
abril	3,3			
mayo	<1,2	<1,8 E-3	<1,3 E-3	9,0 E-4
junio	<3,5			
julio	3,6			
agosto	0,5	<3,0 E-3	<3,0 E-3	<1,4 E-3
setiembre	0,8			
octubre	3,4			
noviembre	3,3	<2,7 E-3	<3,0 E-3	<1,9 E-3
diciembre	3,6			

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

Concentración de actividad en peces del río Paraná (Bq/kg)			
período	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
1° trimestre	<0,05	<0,05	0,25
2° trimestre	<0,04	<0,04	0,25
3° trimestre	<0,05	<0,05	0,20
4° trimestre	<0,05	<0,04	0,25

Nota: muestra conjunta de bagre, boga, carpa y patí.

Concentración de actividad en sedimentos del río Paraná (Bq/kg)		
período	cesio 137	cobalto 60
1° trimestre	<1,0	<1,2
2° trimestre	<0,6	<0,7
3° trimestre	<1,1	<1,1
4° trimestre	<1,2	3,2

Concentración de actividad en agua potable (napa) (Bq/l)				
período	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
1° trimestre	1,9	<1,7 E-3	<8,4 E-4	<1,1 E-3
2° trimestre	0,6	<1,7 E-3	<1,3 E-3	<1,2 E-3
3° trimestre	0,7	<1,6 E-3	<2,8 E-3	<1,3 E-3
4° trimestre	<3,2	<4,8 E-3	<1,2 E-3	<1,9 E-3

Concentración de actividad en alimentos de la zona de la CNA I (Bq/kg)								
período	1° trimestre		2° trimestre		3° trimestre		4° trimestre	
	cesio 137	estroncio 90						
lechuga	<0,03	<0,13	<0,02	0,04	<0,02	<0,06	<0,02	0,16
zanahoria	---	---	<0,02	<0,09	---	---	---	---
papa	<0,02	<0,1	---	---	<0,03	<0,1	---	---
remolacha	<0,02	<0,09	<0,03	<0,08	<0,02	<0,1	<0,02	0,1
acelga	<0,1	0,3	---	---	<0,02	<0,1	<0,02	0,3
naranja	<0,03	<0,09	<0,02	<0,09	<0,02	<0,09	<0,02	0,2
limón	---	---	---	---	<0,02	<0,06	<0,02	0,2
mandarina	---	---	<0,02	0,1	<0,01	0,2	---	---
repollo	---	---	<0,02	0,08	<0,02	---	<0,03	0,16
batata	<0,02	0,15	<0,03	0,19	<0,03	0,1	<0,03	0,20
durazno	---	---	---	---	---	---	<0,03	<0,08
coliflor	---	---	---	---	<0,04	<0,08	---	---
espinaca	---	---	<0,03	<0,09	---	---	---	---
calabaza	---	---	---	---	---	---	---	---
zapallito	<0,02	<0,06	---	---	---	---	<0,02	0,12
radicheta	---	---	---	---	---	---	<0,04	<0,10
chaucha	---	---	---	---	---	---	<0,02	0,20
tomate	<0,02	<0,02	<0,03	0,1	---	---	---	---
pimiento	<0,01	<0,04	---	---	---	---	<0,02	<0,06

Nota: --- muestra no disponible durante el trimestre, debido a que las matrices son estacionales.

Concentración de actividad en leche de la zona de la CNA I (Bq/l)			
período	yodo 131	cesio 137	estroncio 90
1° trimestre	<0,2	<0,02	<0,08
2° trimestre	<0,3	<0,02	<0,05
3° trimestre	<0,2	<0,02	<0,08
4° trimestre	<0,2	<0,002	<0,17

Concentración de actividad en pasto de la zona de la CNA I (Bq/m ²)			
período	yodo 131	cesio 137	estroncio 90
1° trimestre	<1,0	<0,9	<1,2
2° trimestre	<0,6	<1,2	<0,5
3° trimestre	<0,5	<0,6	<1,1
4° trimestre	<0,4	<1,5	<1,2

No se detectó contaminación atribuible al funcionamiento de la central, con excepción de niveles muy bajos de cobalto 60, en casos puntuales, en el sedimento del río Paraná de las Palmas; y de estroncio 90 en algunos peces.

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 $3,6 \times 10^{-3}$ mSv. Este valor se encuentra muy por debajo del valor límite de dosis establecido en la normativa vigente. Cabe aclarar que en este caso, la dosis calculada en el grupo crítico, 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.

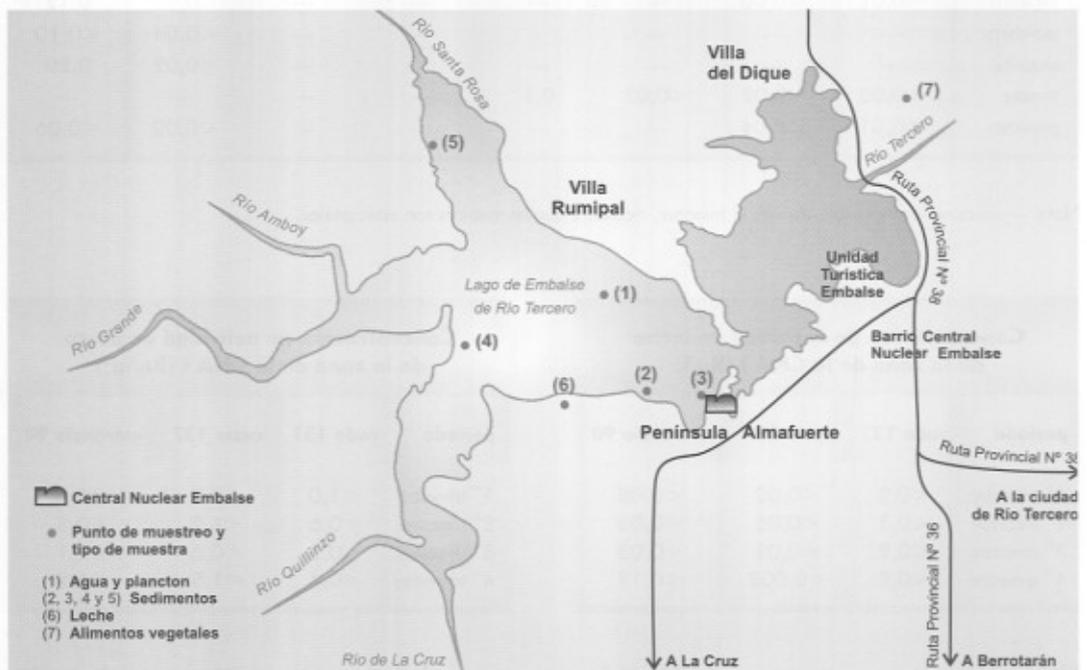
Central Nuclear Embalse

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

En la **Figura 4**, se presenta la ubicación de los puntos de muestreo ambiental en los alrededores de la CNE.

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

Figura 4
Alrededores de la Central Nuclear Embalse



Para evaluar el impacto ambiental de las descargas líquidas, se tomaron y analizaron muestras de agua del lago, sedimentos, plancton, peces, y agua potable de la red de distribución de la ciudad de Embalse.

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas gaseosas, se tomaron y analizaron muestras de alimentos producidos en la zona de influencia de la central, tales como vegetales y leche. Como indicador del depósito del material radiactivo, se recolectó pasto en el perímetro de la instalación.

Las muestras de leche fueron obtenidas de un tambo ubicado dentro de un radio de 5 km de la central nuclear, 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, con una frecuencia mensual, de la estación Confluencia (punto 1, figura 4). 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. Se determinó tritio mensualmente, tanto en agua del lago como en agua potable, y con una frecuencia trimestral se determinaron cesio 137 y estroncio 90.

Mensualmente, se tomaron muestras de sedimentos en el punto correspondiente a la Unidad Turística Embalse, figura 4.

La captura de peces de diferentes especies fue realizada de distintas partes del lago, con una frecuencia mensual, expresándose los resultados como promedios trimestrales.

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

La determinación de la concentración de cesio 137 en muestras correspondientes a leche, verduras de hoja y de raíz, y peces, se realizó por espectrometría gamma, en condiciones geométricas normalizadas, sobre comprimidos de cenizas de las muestras calcinadas.

Las concentraciones de estroncio 90 y de yodo 131 fueron determinadas de la misma forma que se describió en el caso de la CNA I.

Durante 1998, se recolectaron en total 120 muestras y sobre las mismas se realizaron 350 análisis y determinaciones radioquímicas. Los valores de actividad medidos en las muestras mencionadas se pueden observar en los cuadros de la página siguiente.

No se detectó la presencia de radionucleidos en el ambiente atribuibles al funcionamiento de la CNE, con excepción del tritio en las muestras de agua y niveles muy bajos de 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. 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.

La dosis al grupo crítico, estimada basándose en la exposición a las vías críticas correspondientes a los radionucleidos identificados en las muestras recogidas, resultó menor que 5×10^{-3} mSv, valor muy por debajo del límite de dosis establecido en la normativa vigente.

Concentración de actividad en agua del lago de Embalse de Río Tercero (Bq/l)				
período	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
enero	190			
febrero	190	<1,5 E-3	<1,0 E-3	<1,4 E-3
marzo	140			
abril	130			
mayo	130	<2,0 E-3	<1,0 E-3	<3,0 E-3
junio	115			
julio	130			
agosto	140	<2,0 E-3	<4,0 E-3	<3,0 E-3
setiembre	160			
octubre	210			
noviembre	260	<9,0 E-3	<6,5 E-3	<4,6 E-3
diciembre	250			

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	cesio 137	cobalto 60	período	cesio 137	cobalto 60
1° trimestre	1,5	<0,8	3° trimestre	1,7	<0,8
2° trimestre	<1,1	<0,8	4° trimestre	4,3	<0,7

Concentración de actividad en agua potable de la ciudad de Embalse (Bq/l)				
período	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
1° trimestre	150	<4,3 E-3	<3,2 E-3	<1,5 E-3
2° trimestre	110	<4,3 E-3	<3,0 E-3	<1,0 E-3
3° trimestre	200	<4,5 E-3	<3,5 E-3	<4,0 E-3
4° trimestre	220	<4,2 E-3	<3,2 E-3	<3,0 E-3

Concentración de actividad en leche de la zona de la CNE (Bq/l)			
período	cesio 137	estroncio 90	yodo 131
1° trimestre	<0,01	<0,05	<0,2
2° trimestre	<0,01	<0,03	0,1
3° trimestre	<0,02	<0,05	<0,2
4° trimestre	<0,02	<0,05	<0,2

Depósito de actividad en pasto de la zona de la CNE (Bq/m ²)			
período	cesio 137	cobalto 60	yodo 131
1° trimestre	<8,0	<6,0	<7,5
2° trimestre	<4,0	<3,5	<3,3
3° trimestre	<5,0	<4,0	<2,8
4° trimestre	<6,0	<5,0	<1,2

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

período	1° trimestre		2° trimestre		3° trimestre		4° trimestre	
	cesio 137	estroncio 90						
choclo	<0,03	<0,07	---	---	---	---	---	---
repollo	<0,02	<0,02	---	---	---	---	---	---
acelga	<0,02	0,25	---	---	---	---	<0,02	0,28
lechuga	---	---	---	---	---	---	<0,03	<0,07
radicheta	<0,02	0,23	---	---	---	---	<0,04	0,14
remolacha	---	---	---	---	---	---	<0,02	0,10
soja	---	---	<0,09	<0,4	---	---	---	---
perejil	---	---	---	---	---	---	<0,03	0,16
zapallito	---	---	---	---	---	---	<0,02	<0,09
espinaca	---	---	---	---	---	---	<0,05	0,56
morrónes	---	---	---	---	---	---	<0,03	<0,08
tomate	---	---	---	---	---	---	<0,03	0,09

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

período	1° trimestre			2° trimestre			3° trimestre			4° 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
mojarra	0,09	<0,05	0,04	---	---	---	---	---	---	---	---	---
pejerrey	0,1	<0,06	<0,3	---	---	---	0,09	<0,04	<0,2	---	---	---
carpa	<0,08	<0,05	0,4	---	---	---	---	---	---	---	---	---
camarón	0,05	<0,03	<0,2	---	---	---	---	---	---	---	---	---
tararira	0,2	<0,4	<0,4	---	---	---	---	---	---	---	---	---

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

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 encapsuladas 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.).

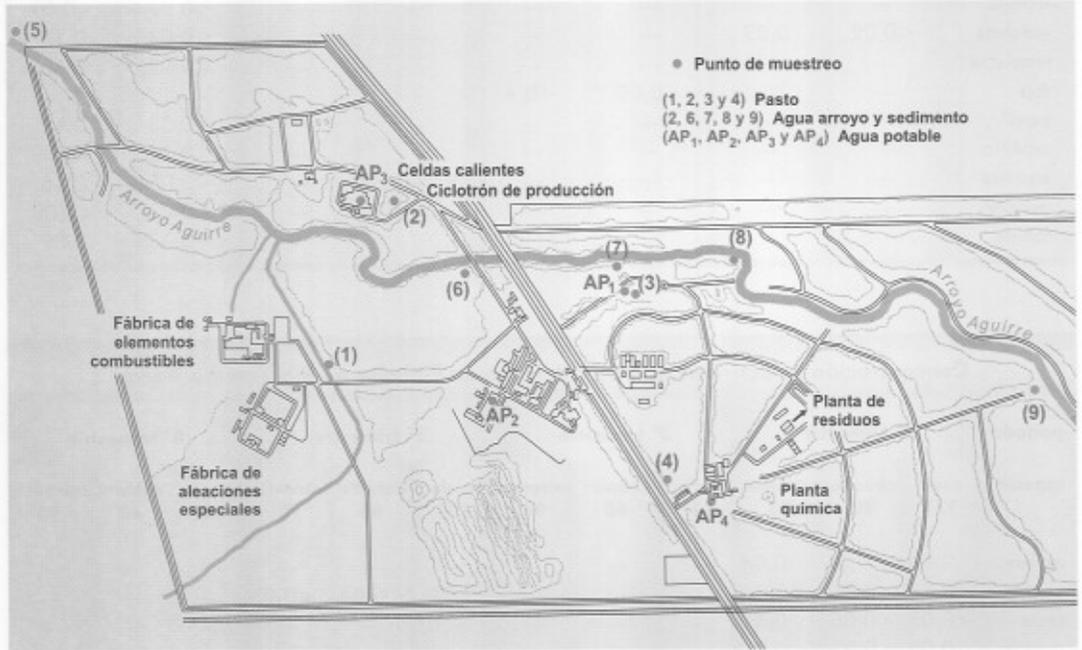
La **Figura 5** muestra la ubicación de los puntos en los que se realiza el muestreo correspondiente al control ambiental en los alrededores del centro atómico Ezeiza (CAE).

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 CAE.

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas gaseosas, se tomaron y analizaron muestras de aire, con una frecuencia semanal, para determinar la presencia de aerosoles radiactivos. Para determinar el depósito de material radiactivo, se tomaron muestras de agua de lluvia que fueron recolectadas y analizadas con una frecuencia trimestral; y muestras de pasto, recolectadas y analizadas con una frecuencia mensual e informadas como promedio trimestral. Además, se recolectaron y analizaron muestras de alimentos vegetales, de una quinta ubicada a 3 km del CAE, en dirección sudoeste, con una

frecuencia trimestral. Las muestras de leche fueron recolectadas en forma semanal, de un tambo de la zona, ubicado a 3 km del CAE, en dirección oeste, determinándose los niveles de cesio 137 y estroncio 90, trimestralmente. Las muestras de pasto fueron obtenidas de diferentes puntos, también dentro de un radio de los 3 km (punto 1, 2, 3 y 4, figura 5).

Figura 5
Alrededores del Centro Atómico Ezeiza



Para evaluar el impacto ambiental de las descargas líquidas, se tomaron y analizaron muestras de agua potable del CAE y agua y sedimentos del arroyo Aguirre.

Muestreo ambiental en el Arroyo Aguirre



Las muestras de agua y sedimentos del arroyo Aguirre fueron tomadas con una frecuencia mensual, antes y después del CAE (puntos 5, 6, 7, 8 y 9, figura 5). También se analizaron muestras provenientes de los tanques de agua potable de dicho centro (puntos AP1, AP2, AP3 y AP4, figura 5).

Las mediciones de las muestras correspondientes a leche, verduras de hoja y de raíz, se realizaron por espectrometría gamma, sobre comprimidos de cenizas de las muestras calcinadas.

Las concentraciones de estroncio 90 y de yodo 131 fueron determinadas conforme a la técnica descrita en el caso de la CNA I.

En el plan de monitoreo efectuado durante el año 1998, se recolectaron 450 muestras y se efectuaron 1400 determinaciones de los distintos radionucleidos de interés.

Al igual que en el caso de los monitoreos realizados en los alrededores de las centrales nucleares, no se detectaron radionucleidos en el ambiente que pudieran atribuirse al funcionamiento del centro atómico Ezeiza, con excepción de niveles muy bajos de cesio 137 y cobalto 60 en algunas muestras de sedimento del arroyo Aguirre.

La dosis en el grupo crítico, obtenida en base a los radionucleidos identificados en las muestras recolectadas, resultó menor que $2,9 \times 10^{-3}$ mSv. Este valor se encuentra un orden de magnitud por debajo del límite de dosis para el público.

Cabe aclarar que, debido a las distintas series de ensayos de armas nucleares en la atmósfera que se efectuaron entre las décadas de 1940 y de 1970, existe un importante inventario de productos de fisión en el ambiente, en particular, de estroncio 90. Por lo tanto, es natural que en algunas muestras de alimentos se haya detectado la presencia de estroncio 90.

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

periodo	cesio 137	cobalto 60	periodo	cesio 137	cobalto 60
enero	<2,0	<5,0	julio	<3,4	<2,9
febrero	<2,0	<2,3	agosto	<7,3	<5,1
marzo	<1,7	<2,5	septiembre	<5,0	<3,4
abril	<2,3	<1,6	octubre	<4,6	<4,1
mayo	<1,4	<3,8	noviembre	<5,5	<3,0
junio	<3,5	<2,5	diciembre	<5,0	<3,0

Los resultados obtenidos pueden observarse en los cuadros siguientes:

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

periodo	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	yodo 131
1° trimestre	<0,05	<0,02	<0,03	<0,3
2° trimestre	<0,02	<0,03	<0,05	<0,3
3° trimestre	<0,03	<0,04	<0,1	<0,2
4° trimestre	<0,02	<0,06	<0,06	<0,2

Concentración de actividad en agua potable del CAE (Bq/l)												
período	1° trimestre			2° trimestre			3° trimestre			4° trimestre		
especie	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	<2 E-3	<1 E-3	<1 E-4	<2 E-3	<1 E-4	<1 E-4	<2,0 E-3	<1 E-3	<1,2 E-3	<3 E-3	<2 E-3	<2 E-3
AP2	<2 E-3	<1 E-3	<1 E-4	<1 E-3	<1 E-3	<1 E-4	<1,0 E-3	<1 E-3	<1,1 E-3	<4 E-3	<3 E-3	<2,1 E-3
AP3	<3 E-3	<5 E-3	<1 E-4	<2 E-3	<1 E-3	<1 E-4	<2,0 E-3	<1 E-3	<1,0 E-3	<3 E-3	<1 E-3	<1,8 E-3
AP4	<3 E-3	<5 E-3	<1 E-4	<3 E-3	<2 E-3	<3 E-4	<1,2 E-3	<2 E-3	1,0 E-3	<2 E-3	<2 E-3	<2 E-3

Depósito de actividad en el CAE (Bq/m ²)			
período	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
1° trimestre	<0,2	<0,2	<0,1
2° trimestre	<0,1	0,2	0,4
3° trimestre	0,2	0,1	<0,09
4° trimestre	0,2	0,6	<0,09

Nota: evaluación realizada por medición de muestras de agua de lluvia.

Depósito de actividad en el CAE (Bq/m ²)			
período	cesio 137	cobalto 60	yodo 131
1° trimestre	<8,1	<9,1	<5,5
2° trimestre	<9,5	<4,5	<6,2
3° trimestre	<9,6	<6,3	<7,2
4° trimestre	<10,0	<5,0	<10,0

Nota: evaluación realizada por medición de muestras de pasto.

Concentración de actividad en agua del arroyo Aguirre (Bq/l)								
período	1° trimestre		2° trimestre		3° trimestre		4° trimestre	
puntos	cesio 137	cobalto 60						
1	<1,0	<0,5	<1,2	<0,7	<0,7	<0,7	<1,2	<0,7
2	<0,7	<0,3	<0,6	<0,3	<0,3	<0,7	<0,9	<0,2
3	<0,8	<0,3	<0,6	<0,4	<0,4	<0,3	<0,6	<0,5
4	<1,1	<0,5	<0,8	<0,3	<0,3	<0,7	<0,7	<0,1
5	<0,8	<0,6	<0,9	<0,4	<0,4	<1,0	<0,9	<0,5
6	<1,0	<0,3	<0,7	<0,2	<0,2	<0,9	<1,3	<0,6

Concentración de actividad en sedimentos del arroyo Aguirre (Bq/kg)								
período	1° trimestre		2° trimestre		3° trimestre		4° trimestre	
puntos	cesio 137	cobalto 60						
1	<0,8	<0,7	1,6	0,7	1,3	<0,9	<0,6	<1,7
2	4,3	11,2	4,5	16,0	3,4	3,2	2,0	<0,9
3	4,5	2,5	27,7	5,9	4,5	7,2	2,5	<0,7
4	9,2	2,7	32,8	15,1	26,2	12,1	15,0	<2,1
5	14,5	28,3	46,3	11,2	21,7	11,5	33,0	6,0
6	30,5	13,2	32,5	16,3	44,1	13,6	46,9	6,7

Concentración de actividad en los alimentos de la zona del CAE (Bq/kg)								
período	1° trimestre		2° trimestre		3° trimestre		4° trimestre	
especie	cesio 137	estroncio 90						
Acelga	<0,02	<0,07	<0,03	<0,1	<0,02	<0,1	<0,01	<0,1
lechuga	<0,02	<0,1	<0,02	<0,08	<0,02	<0,08	<0,02	<0,09
pollo	<0,02	<0,08	<0,02	<0,06	---	---	<0,02	0,15
berenjena	<0,02	<0,08	---	---	---	---	---	---
radicheta	<0,02	0,16	<0,02	<0,06	<0,02	<0,08	0,03	<0,16
brócoli	---	---	<0,02	<0,05	<0,02	<0,09	---	---
puerro	---	---	<0,02	<0,05	<0,02	0,1	---	---
hinojo	---	---	---	---	<0,02	<0,1	---	---
limón	---	---	---	---	<0,02	0,05	---	---
remolacha	<0,02	<0,08	---	---	---	---	<0,03	---
coliflor	---	---	<0,02	0,21	---	---	---	---
tomate	<0,02	0,1	---	---	---	---	<0,02	---
escarola	---	---	---	---	<0,02	<0,08	---	---
cebolla	<0,02	<0,06	---	---	---	---	---	---

Nota: --- significa muestra no disponible, debido a que las matrices son estacionales.

Complejos minero fabriles de uranio

La ARN lleva a cabo monitorajes 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 monitorajes 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 los complejos minero fabriles de uranio, muestreos de aguas superficiales y sedimentos de acuíferos que potencialmente podrían estar influenciados por la operación de las instalaciones. Paralelamente, se realizan muestreos de aguas de napa freática, si las características de la zona del emplazamiento lo justifican.

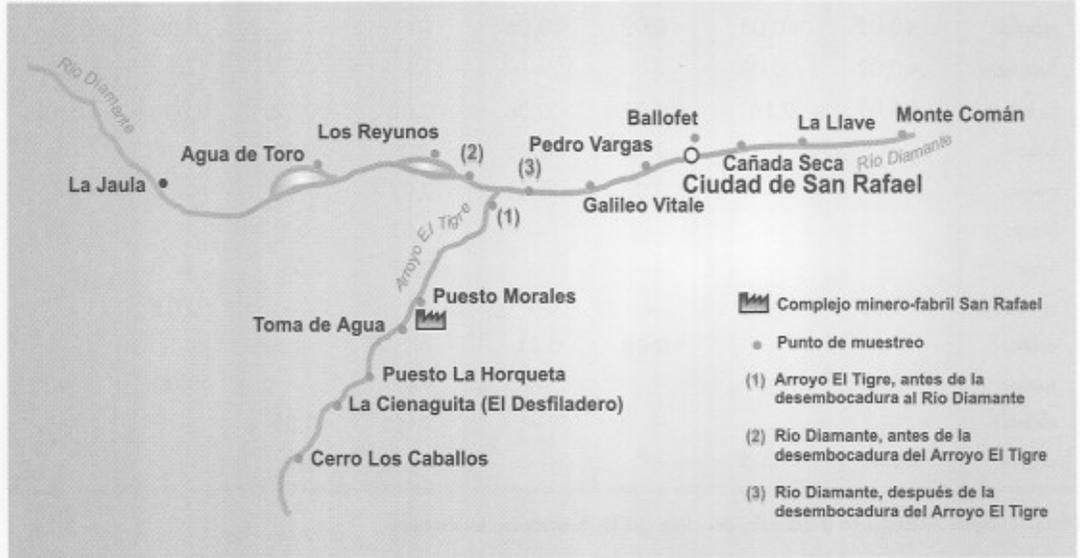
Dado que las vías críticas de llegada al hombre son la ingestión de agua y la inhalación, se llevan a cabo las determinaciones de la concentración de uranio natural y de la actividad de radio 226 en muestras de agua y de la tasa de emanación del gas radón en las escombreras de mineral de uranio, ya que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

Complejo minero fabril SAN RAFAEL

El Complejo minero fabril San Rafael se encuentra ubicado a 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 6** se presentan los cursos de agua y la ubicación de los puntos de muestreo.

Figura 6
Alrededores del complejo minero fabril San Rafael



Durante 1998 se recolectaron 21 muestras de agua y 14 muestras de sedimentos. Se realizaron, sobre estas muestras recolectadas, un total de 70 determinaciones y análisis radioquímicos. Se detallan a continuación los valores promedios obtenidos, expresados como media geométrica.

Tipo de muestra	Valor promedio
uranio natural en agua potable	0,002 mg/l (ppm)
uranio natural aguas	0,008 mg/l (ppm)
uranio natural en sedimentos	2,6 mg/kg (ppm)

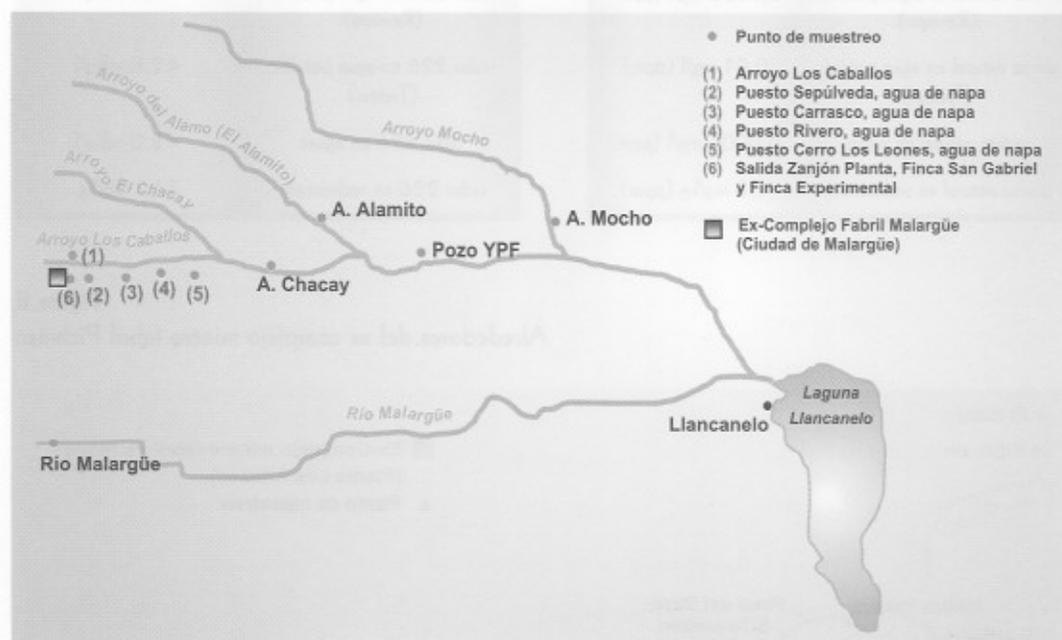
Tipo de muestra	Valor promedio
radio 226 en agua potable	< 1,9 mBq/l
radio 226 en aguas	< 2,9 mBq/l
radio 226 en sedimentos	47,8 Bq/kg
tasa de emanación de radón	5,5 Bq/m ² .s

Ex Complejo fabril MALARGÜE

El ex Complejo fabril Malargüe se encuentra ubicado en el sur de la provincia de Mendoza, aproximadamente a 1km 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 40 km al sur de la localidad de Malargüe, procesando luego mineral procedente de San Rafael. Actualmente, se están 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 se encuentra muy alta y aflora en varios puntos en los alrededores de la instalación. Las muestras son recolectadas en distintos puntos aguas abajo en el sentido de escurrimiento de la napa hasta su afloramiento definitivo en la laguna Llancanelo. 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 laguna (ver **Figura 7**). También, se determinó la tasa de emanación de radón en las escombreras de mineral de uranio.

Figura 7
Alrededores del ex complejo minero Malargüe



Durante 1998, se recolectaron 23 muestras de aguas y 9 de sedimentos, realizándose sobre las mismas un total de 64 análisis. Se detallan a continuación los valores promedios obtenidos, expresados como media geométrica.

Tipo de muestra	Valor promedio
uranio natural en agua potable	0,0006 mg/l (ppm)
uranio natural en aguas	0,06 mg/l (ppm)
uranio natural en sedimentos	24,3 mg/kg (ppm)

Tipo de muestra	Valor promedio
radio 226 en agua potable	< 1,8 mBq/l
radio 226 en aguas	4,4 mBq/l
radio 226 en sedimentos	44,7 Bq/kg
tasa de emanación de radón	7,28 Bq/m ² .s

Ex Complejo minero fabril PICHINÁN

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

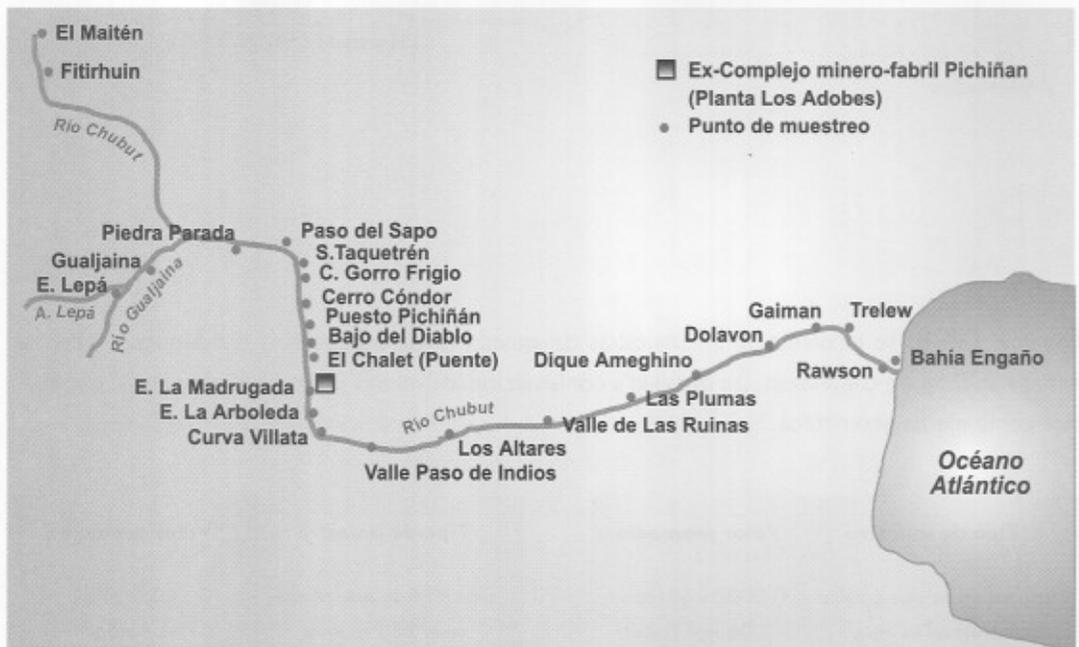
Este complejo inició su operación en agosto de 1977 finalizando la misma en abril de 1981, fecha en la que se procedió al cierre temporario de la instalación. En principio se procesó mineral proveniente del yacimiento "Los Adobes", ubicado a 40 km al norte del Complejo, y posteriormente del yacimiento "Cerro Cóndor" ubicado a 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 8.

Durante 1998, se tomaron 24 muestras de aguas y 18 de sedimentos, realizándose sobre las muestras un total de 84 determinaciones y análisis radioquímicos. Se detallan a continuación los valores promedios obtenidos, expresados como media geométrica.

Tipo de muestra	Valor promedio	Tipo de muestra	Valor promedio
uranio natural en agua potable (Rawson)	0,0008 mg/l (ppm)	radio 226 en agua potable (Rawson)	< 2,0 mBq/l
uranio natural en agua potable (Trelew)	0,01 mg/l (ppm)	radio 226 en agua potable (Trelew)	< 2,0 mBq/l
uranio natural en aguas	0,0006 mg/l (ppm)	radio 226 en aguas	< 2,0 mBq/l
uranio natural en sedimentos	1,8 mg/kg (ppm)	radio 226 en sedimentos	34,3 Bq/kg

Figura 8
Alrededores del ex complejo minero fabril Pichiñan



Complejo fabril CÓRDOBA

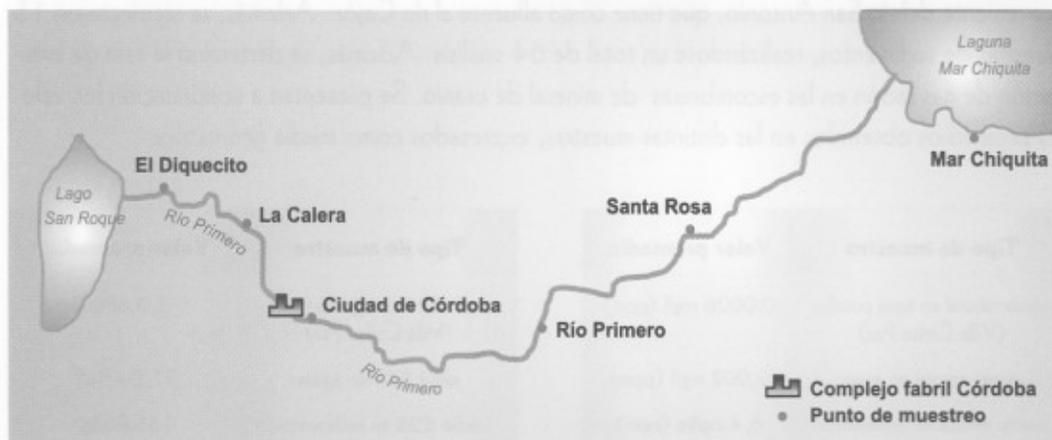
El complejo fabril Córdoba está ubicado en la ciudad de Córdoba, en la zona conocida como Alta Córdoba, y fue creada con el objeto de determinar la posibilidad de obtención, en escala industrial, de concentrados de uranio. A partir de 1982, se iniciaron las operaciones de las líneas de purificación y 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 9**.

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

Tipo de muestra	Valor promedio	Tipo de muestra	Valor promedio
uranio natural en aguas	0,007 mg/l (ppm)	radio 226 en aguas	< 2,3 mBq/l
uranio natural en sedimentos	1,8 mg/kg (ppm)	radio 226 en sedimentos	< 35,0 Bq/kg

Figura 9
Alrededores del complejo fabril Córdoba



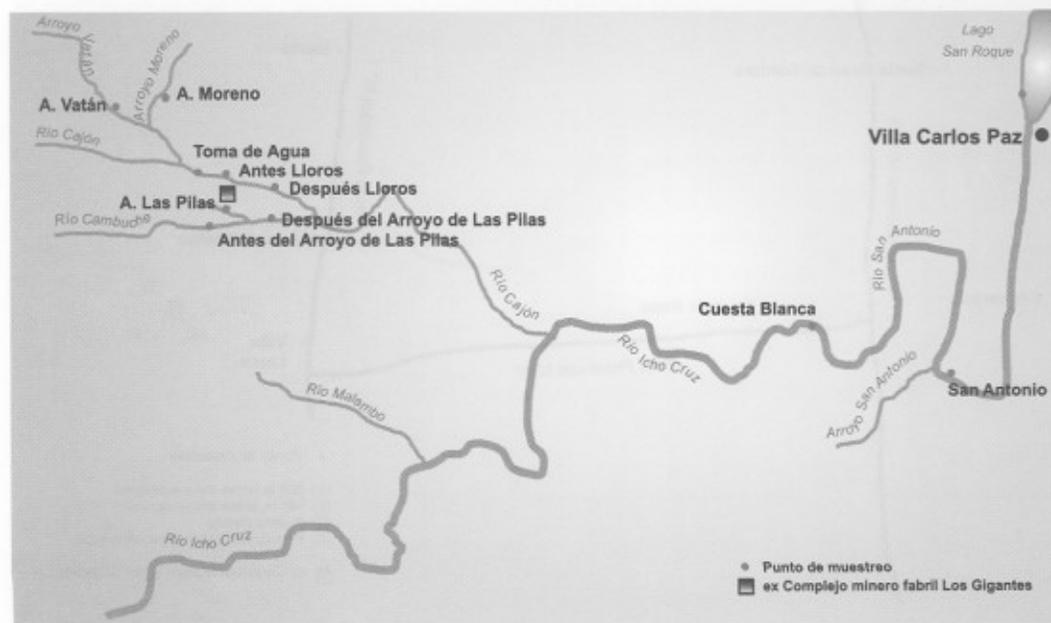
Ex Complejo minero fabril LOS GIGANTES

El ex Complejo minero fabril Los Gigantes se encuentra ubicado en la provincia de Córdoba, en el Cerro Los Gigantes, al sudoeste de la denominada Pampa de San Luis, en el Departamento de Cruz del Eje, limítrofe con el Departamento de Punilla. Actualmente, se encuentran muy avanzados 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 los cursos de agua asociados a estos ríos, como los arroyos Vatán y Moreno, y los ríos Icho Cruz y San Antonio.

En la Figura 10, se muestran los alrededores del ex Complejo minero fabril Los Gigantes, indicándose los puntos de muestreo.

Figura 10
Alrededores del ex complejo minero fabril Los Gigantes



Durante 1998, se recolectaron 17 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 15 muestras de sedimentos, realizándose un total de 64 análisis. Además, se determinó la tasa de emanación de gas radón en las escombreras de mineral de uranio. Se presentan a continuación los valores promedios obtenidos en las distintas muestras, expresados como media geométrica.

Tipo de muestra	Valor promedio
uranio natural en agua potable (Villa Carlos Paz)	0,0006 mg/l (ppm)
uranio natural en aguas	0,002 mg/l (ppm)
uranio natural en sedimentos	6,4 mg/kg (ppm)

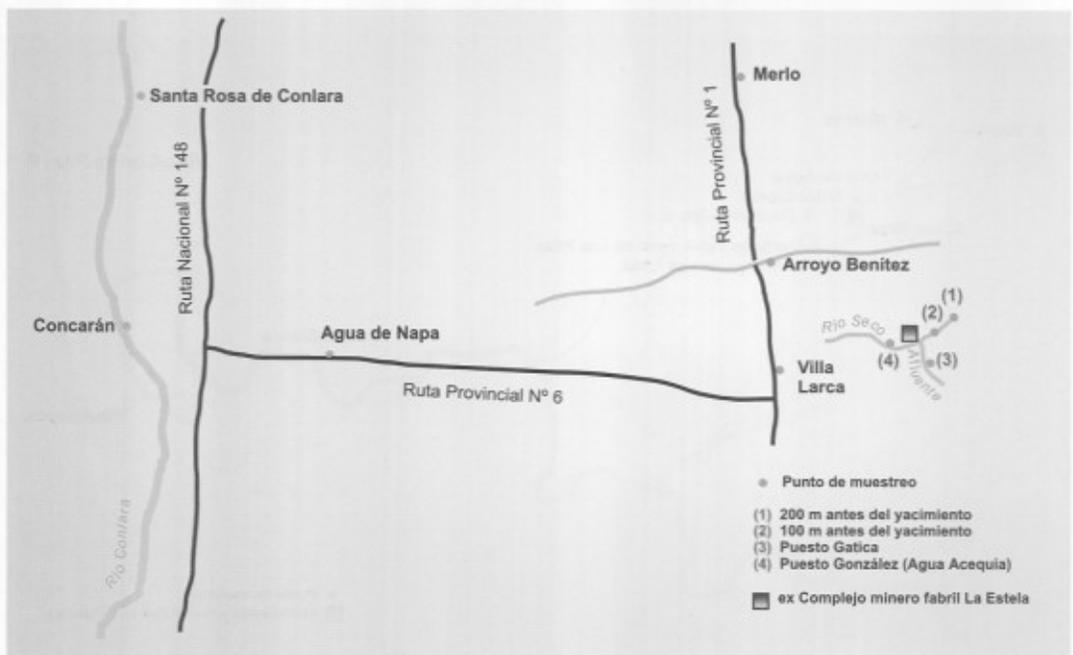
Tipo de muestra	Valor promedio
radio 226 en agua potable (Villa Carlos Paz)	3,0 mBq/l
radio 226 en aguas	77,0 mBq/l
radio 226 en sedimentos	135 Bq/kg
tasa de emanación de radón	0,83 Bq/m ³ .s

Ex Complejo minero fabril LA ESTELA

El ex Complejo minero fabril La Estela que operó desde el año 1982 hasta el año 1991, está ubicado en el Departamento Chacabuco, en 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, como se indica en la **Figura 11**, 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.

Figura 11
Alrededores del ex complejo minero fabril La Estela



El sentido general de circulación del 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. 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 éste de las aguas subterráneas.

Durante 1998, se tomaron 11 muestras de agua y 7 de sedimentos, determinándose en ambos tipos de muestras la concentración de uranio natural y radio 226. Se detallan a continuación los valores promedios obtenidos, expresados como media geométrica:

Tipo de muestra	Valor promedio
uranio natural en aguas	0,012 mg/l (ppm)
uranio natural en sedimentos	5,0 mg/kg (ppm)

Tipo de muestra	Valor promedio
radio 226 en aguas	<3,6 mBq/l
radio 226 en sedimentos	50 Bq/kg

Ex Complejo minero fabril LOS COLORADOS

El ex Complejo minero fabril Los Colorados 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.

Durante 1998, se tomaron 11 muestras de aguas superficiales, una muestra de agua potable de la ciudad de Patquía y 2 muestras de sedimentos, realizándose 44 determinaciones sobre las mismas. Se llevó a cabo, también, la medición 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	0,003 mg/l (ppm)
uranio natural en sedimentos	1,7 mg/kg (ppm)
uranio natural en agua de napa	0,0024 mg/l
uranio natural en agua potable (ciudad de Patquía)	0,021 mg/l

Tipo de muestra	Valor promedio
radio 226 en aguas	15,0 mBq/l
radio 226 en sedimentos	20,0 Bq/kg
radio 226 en agua de napa	28,3 mBq/l
radio 226 en agua potable (ciudad de Patquía)	<2,0 mBq/l
tasa de emanación de radón	0,8 Bq/m ² .s

Ex Complejo minero fabril TONCO

El ex Complejo minero fabril Tonco comenzó su actividad en abril de 1964, finalizando la misma en el año 1981. Está ubicado en el Departamento San Carlos, en la provincia de Salta, a unos 150 km al sudoeste de la ciudad capital, como se indica en la **Figura 12**. La instalación operó, fundamentalmente, con mineral proveniente del yacimiento Don Otto y, en menor escala con mineral de los yacimientos Los Berthos, Pedro Nicolás y M.M. de Güemes. El monitoreaje ambiental se basa, fundamentalmente, en la recolección de muestras de aguas superficiales y sedimentos. 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.

Figura 12
Alrededores del ex complejo minero fabril Tonco



Durante 1998, se tomaron 26 muestras de aguas superficiales y 26 muestras de sedimentos, realizándose 104 determinaciones sobre las mismas.

Tipo de muestra	Valor promedio
uranio natural en aguas	0,08 mg/l (ppm)
uranio natural en sedimentos	2,0 mg/kg (ppm)

Tipo de muestra	Valor promedio
radio 226 en aguas	13,6 mBq/l
radio 226 en sedimentos	40,0 Bq/kg

Conclusiones

Los valores medidos sobre las muestras obtenidas durante el monitoreaje ambiental, en los alrededores de las diferentes complejos minero fabriles de uranio, indican que no se observan diferencias estadísticamente significativas entre los niveles determinados aguas arriba y aguas abajo de las

instalaciones. Por otra parte, los valores medidos se encuentran muy por debajo de los valores de referencia para agua aceptados por la Autoridad Regulatoria Nuclear: 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 las concentraciones de radionucleidos de interés en muestras de aire, leche, dieta y alimentos varios. Las muestras de frutas y verduras de diferentes especies fueron adquiridas en el Mercado Central de Buenos Aires.

Con respecto al muestreo de aerosoles, el sistema muestreador se encuentra ubicado en la Sede Central de la ARN, en la ciudad de Buenos Aires.

Se analizaron, también, los distintos componentes de una dieta promedio semanal, 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 llevaron a cabo sobre muestras conjuntas trimestrales.

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

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

período	cesio 137	período	cesio 137
enero	<3,9	julio	<2,2
febrero	<2,9	agosto	<4,8
marzo	<4,3	setiembre	<3,2
abril	<3,0	octubre	<3,0
mayo	<3,7	noviembre	<3,7
junio	<5,7	diciembre	<3,7

Concentración de actividad
en leche (Bq/l)

período	cesio 137	estroncio 90
1° trimestre	<0,02	<0,06
2° trimestre	<0,01	<0,05
3° trimestre	<9,0 E-3	<0,06
4° trimestre	<9,3 E-3	<0,05

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

período	cesio 137	Estroncio 90
1° trimestre	<0,05	<0,06
2° trimestre	<0,05	<0,10
3° trimestre	<0,04	<0,19
4° trimestre	<0,03	<0,20

Concentración de actividad en alimentos adquiridos en el Mercado Central de Buenos Aires (Bq/kg)								
período	1° trimestre		2° trimestre		3° trimestre		4° trimestre	
especie	cesio 137	estroncio 90						
papa	<0,03	<0,1	<0,02	<0,05	<0,01	<0,03	<0,02	<0,05
batata	<0,02	0,09	<0,02	<0,09	<0,01	<0,09	<0,04	<0,09
zanahoria	---	---	<0,03	<0,08	---	---	---	---
calabaza	---	---	---	---	<0,02	<0,21	---	---
cebolla	---	---	<0,02	<0,04	<0,02	<0,14	<0,04	<0,04
naranja	<0,03	<0,09	<0,01	<0,07	<0,01	0,1	<0,02	<0,05
zapallito	---	---	<0,02	<0,06	<0,01	<0,04	<0,02	<0,04
pimiento	<0,01	<0,03	<0,02	<0,05	---	---	---	---
pera	<0,02	<0,07	---	---	<0,01	<0,02	---	---
durazno	---	---	---	---	---	---	---	---
acelga	---	---	<0,02	<0,07	<0,01	<0,07	<0,02	<0,07
manzana	<0,01	<0,06	<0,02	<0,03	<0,01	<0,03	<0,02	<0,04
tomate	<0,02	<0,05	<0,02	<0,03	<0,02	<0,04	<0,01	<0,04
remolacha	<0,03	0,14	<0,02	<0,08	<0,02	0,19	---	---
apio	---	---	---	---	---	---	<0,03	0,33
pomelo	---	---	<0,02	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03
berenjena	<0,02	<0,1	---	---	---	---	---	---
banana	<0,02	<0,03	---	---	---	---	<0,02	<0,06
limón	---	---	<0,02	<0,1	---	---	<0,04	0,2
espinaca	---	---	---	---	<0,02	<0,08	<0,03	<0,09
repollo	<0,02	<0,09	---	---	<0,02	<0,06	<0,02	0,2
brócoli	---	---	<0,07	<0,14	<0,03	<0,07	---	---

Nota: --- significa muestra no disponible durante el trimestre, debido a que las matrices son estacionales.

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, contribuyen, aproximadamente, 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 los radionucleidos resultantes de su desintegración.

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 promedio 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 ele-

mentos 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/m³. Debido a su importancia radiológica, surgió la necesidad de conocer los valores de concentración de radón en viviendas de diferentes ciudades de nuestro país, de manera de poder estimar la exposición de la población. Durante 1998, el Laboratorio de mediciones de radón, colocó 500 monitores para la medición del gas radón, en diversas ciudades de Argentina.

A continuación se indican las localidades del país donde se efectuaron las mediciones de radón y las características geológicas de la zona:

Concentración de radón en viviendas		
Lugar de muestreo	Número de muestras	Valor promedio (Bq/m ³)
Corrientes (Corrientes)	124	43,2
San Luis (San Luis)	204	30,7
General Alvear (Mendoza)	106	47,2
Malargüe (Mendoza)	221	37,0
San Rafael (Mendoza)	354	30,8
Capital Federal y Gran Buenos Aires	336	26,7
Córdoba (Córdoba)	94	16,0
Mendoza (Mendoza)	57	37,2
Rosario (Santa Fe)	61	36,2
Río Hondo y Frías (Santiago del Estero)	66	28,1
Bariloche (Río Negro)	18	35,5
Esquel, Gastre, Puerto Madryn y Rawson (Chubut)	70	28,0
Cosquín (Córdoba)	70	48,2

- ✓ Mendoza, en las ciudades de General Alvear, Malargüe, San Rafael y Mendoza (zona uranífera)
- ✓ Santa Fe, en la ciudad de Rosario (llanura pampeana)
- ✓ Buenos Aires, y Capital Federal (terreno sedimentario)
- ✓ Corrientes, en la ciudad de Corrientes (placa de Brasilia)
- ✓ Chaco, en la ciudad de Resistencia (Placa de Brasilia)
- ✓ Córdoba y San Luis, en las ciudades de Córdoba y San Luis (sierras pampeanas)
- ✓ Río Negro y Chubut, en las ciudades de Bariloche, Trelew, Puerto Madryn y Rawson (zona andina)

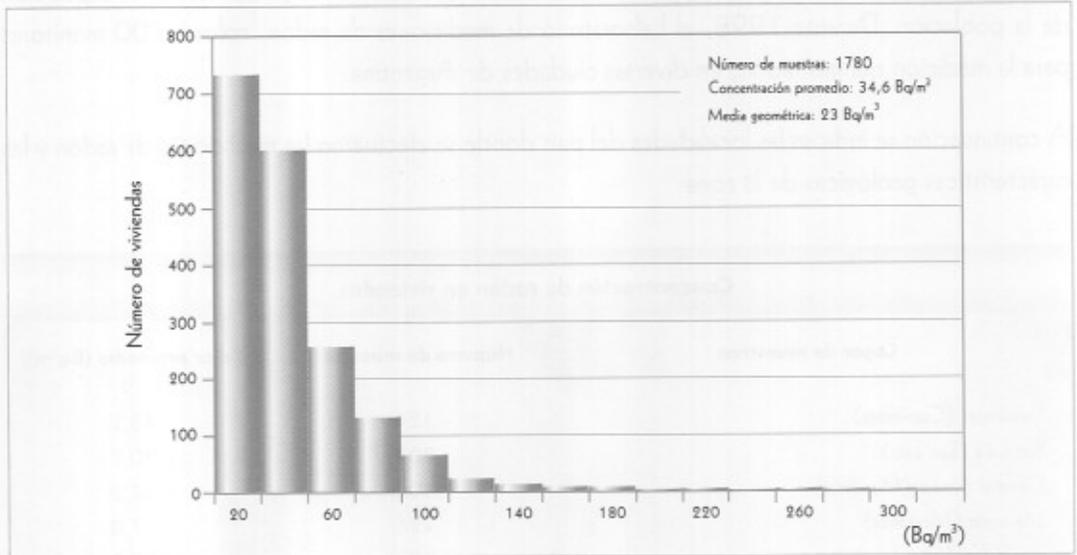
En la **Figura 13** se observa la distribución de la concentración de radón en viviendas, por rango de actividad.

El valor medio de la concentración de radón, considerando las 1780 viviendas monitoreadas, desde 1983 hasta 1998 en todo el país, resultó ser de 34,6 Bq/m³, con una media geométrica de 24,3 Bq/m³.

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/m³, se deben adoptar medidas para reducir la concentración del gas radón, como, por ejemplo, ventilar los ambientes.

Del análisis de los resultados obtenidos se observa que los valores promedios de las distintas ciudades argentinas no superan los 50 Bq/m^3 , encontrándose solamente muy pocos valores individuales por encima de 200 Bq/m^3 y ninguno supera 400 Bq/m^3 .

Figura 13
Distribución de concentración de radón en viviendas

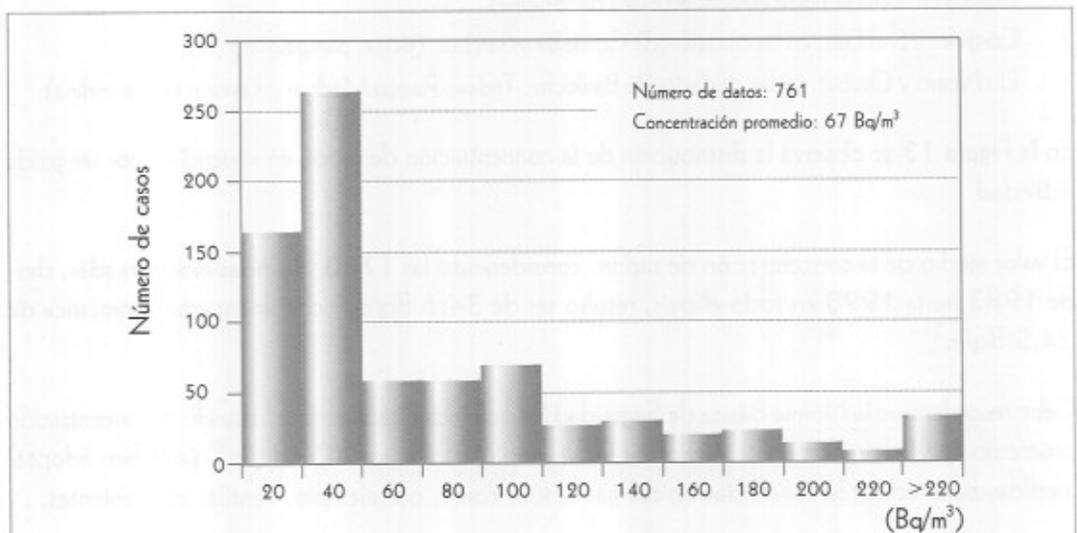


Por ello, se concluye en base a los resultados obtenidos hasta el momento que, en Argentina los niveles de radón en el interior de viviendas se encuentran dentro de los valores aceptables para la población.

También se realizaron mediciones en las siguientes instalaciones relacionadas con el ciclo de combustible nuclear: Complejo fabril Córdoba (Córdoba), ex Complejo fabril Malargüe (Mendoza), Complejo fabril Sierra Pintada (San Rafael, Mendoza) y Yacimiento La Estela (Merlo, San Luis).

En la Figura 14, se observa la distribución de la concentración de radón en muestras obtenidas en las instalaciones relacionadas con el ciclo de combustible nuclear y sus alrededores, por rango de actividad.

Figura 14
Distribución de concentración de radón en instalaciones



En el caso del relevamiento de las instalaciones, dadas las características particulares de cada lugar y de acuerdo a la ubicación de los monitores, se observa una gran dispersión de los valores obtenidos, desde valores por debajo del límite de detección hasta 2000 Bq/m³.

Los niveles de concentración de radón medidos son aceptables para estos tipos de instalaciones y para las características geológicas de las zonas en que se hallan ubicadas.

**Fuentes naturales:
medición de radio 226 y uranio
natural en aguas potables**

Como parte del programa de evaluación de la radiactividad ambiental natural, deben considerarse las dosis provenientes de la ingestión de radionucleidos naturales de período largo, que están contenidos en los alimentos y el agua. Esta evaluación dosimétrica puede ser estimada, a partir de los valores de concentración determinados en los materiales incorporados.

Con tal propósito, se realizó la determinación de las concentraciones de radio 226 y uranio natural en aguas potables de la República Argentina.

Durante 1998, fueron analizadas 157 muestras, provenientes de 18 provincias y de la Ciudad de Buenos Aires, recolectadas de las redes de distribución domiciliaria y de pozos privados. La localización de los puntos de muestreo fue seleccionada teniendo en cuenta los centros con mayor densidad poblacional y también, fueron incluidas poblaciones cercanas a los complejos minero-fabriles de uranio.

La concentración de radio 226 se determinó por la técnica de emanación de radón 222 y medición por centelleo líquido, y la concentración de uranio natural se determinó por fluorimetría.

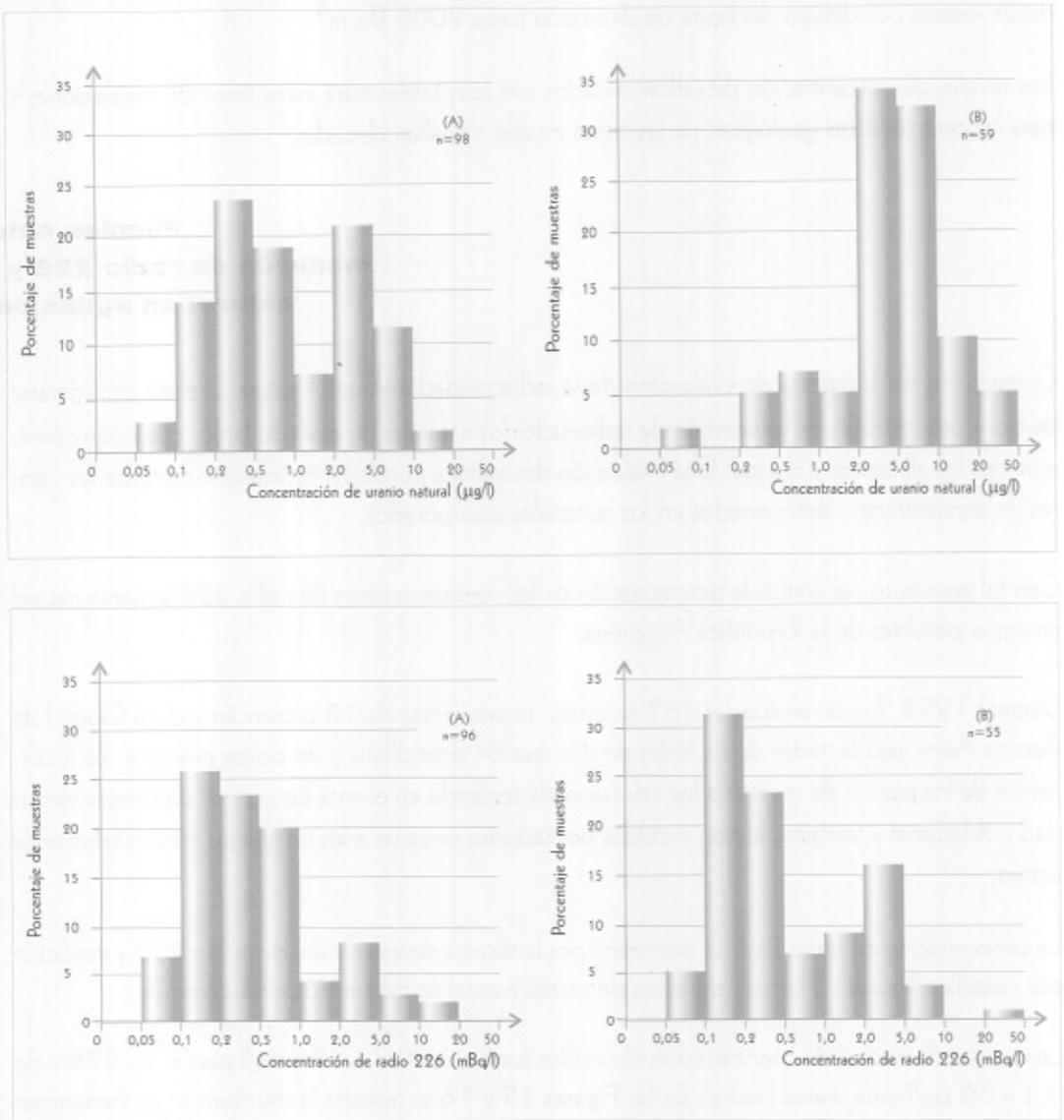
Los rangos de valores de concentración obtenidos fueron de: 0,3 a 22 mBq/l para radio 226 y de 0,1 a 50 µg/l para uranio natural. En las Figuras 15 y 16 se muestra la distribución de frecuencias de concentración de uranio natural y radio 226 en las aguas potables analizadas.

Debido a la ingesta de agua potable y en base a las concentraciones medidas de los radionucleidos naturales de interés, fue estimada una dosis efectiva comprometida individual promedio de 0,5 µSv.año⁻¹, para los habitantes adultos de la Ciudad de Buenos Aires.

Teniendo en cuenta los valores de concentración de radio 226 y uranio natural más elevados que fueron medidos, las máximas dosis efectivas comprometidas individuales fueron estimadas en: 19 µSv.año⁻¹ y 43 µSv.año⁻¹, correspondiendo respectivamente a la ingesta de agua potable proveniente de la red de distribución domiciliaria de una localidad de la provincia de Córdoba y de un pozo privado de la provincia de Buenos Aires.

Todas las concentraciones de radio 226 y uranio natural medidas en el curso del año estuvieron por debajo de los valores de referencia para agua potable (180 mBq/l para radio 226 y 1 mg/l para uranio natural).

Figuras 15 y 16
Distribución de frecuencia de concentración de uranio natural y radio 226 en aguas potables



Muestras provenientes de: (A) red de distribución, (B) pozos privados

DESCARGAS DE MATERIAL RADIATIVO AL AMBIENTE

En esta sección se presentan los valores correspondientes a la descarga de efluentes radiactivos al ambiente durante la operación de las instalaciones radiactivas y nucleares en el año 1998, expresados en términos del porcentaje de la restricción anual.

En las instalaciones del país, la ARN, adoptando un criterio conservativo, ha fijado las restricciones anuales para las descargas considerando valores de dosis en el grupo crítico menores que la restricción de dosis, establecida en la Norma Básica de Seguridad Radiológica en 0,3 mSv.

CENTRALES NUCLEARES

Las Figuras 17 y 18 muestran la composición de las descargas de efluentes radiactivos gaseosos y líquidos al ambiente para la CNA I y CNE, respectivamente. Se puede observar que aproximada-

mente el 90% de la actividad descargada corresponde al tritio. En la CNA I, la contribución de las descargas gaseosas a la actividad total descargada fue del 43%. Comparando las descargas del año 1998 con las correspondientes al año 1997 se observa una disminución en prácticamente todos los valores, recuperando los mismos, en general, los niveles históricos. La disminución de las descargas de tritio se debió fundamentalmente a una mejor planificación de las tareas de mantenimiento del sistema de transporte de los elementos combustibles y en el caso de los gases nobles, a mejoras en el control de calidad en el proceso de fabricación de los elementos combustibles.

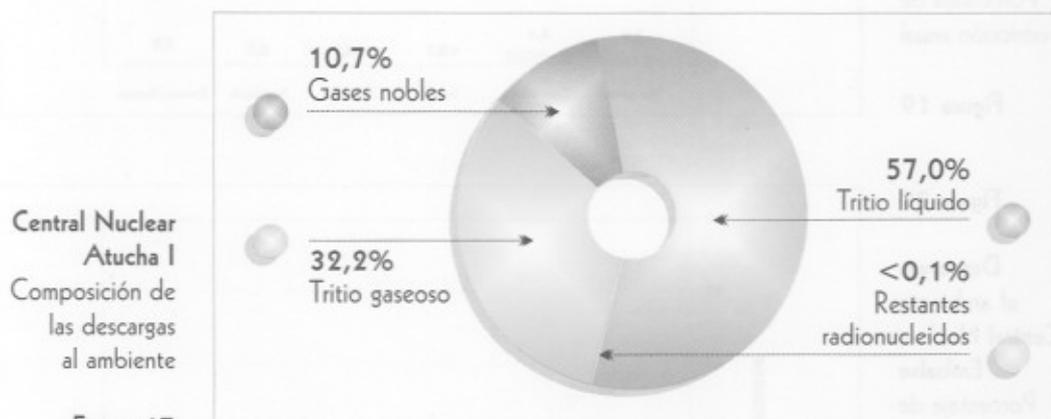


Figura 17

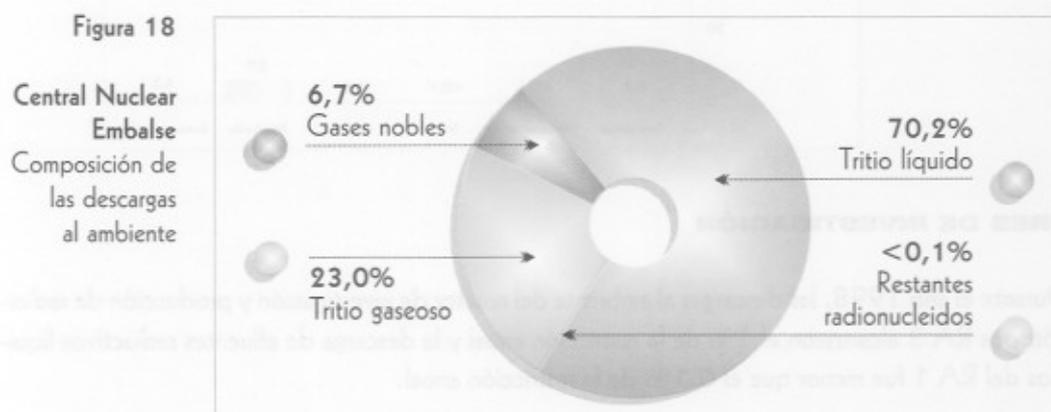


Figura 18

En la CNE, las descargas gaseosas representaron el 30% de la actividad total, valores que mantienen la tendencia registrada en años anteriores. Comparando las descargas del año 1998 con las correspondientes a 1997 se observa una disminución, en general, de estos valores. Sólo se registró un incremento en las descargas de tritio con los efluentes líquidos, debido a los problemas registrados en un generador de vapor y en el sistema de detección de combustible fallado, situaciones que fueron resueltas durante cortas salidas de servicio de la central. Como se verá más adelante, la descarga anual de tritio al lago resultó menor que el 6% de la restricción anual para la descarga.

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

Las Figuras 19 y 20 muestran la fracción de la restricción anual que descargaron al ambiente las centrales nucleares durante el año 1998, para los distintos radionucleidos. En total representaron el 10% de la restricción anual para la CNA I y el 8% de dicho valor para la CNE.

Descargas al ambiente
Central Nuclear Atucha I
Porcentaje de la restricción anual

Figura 19

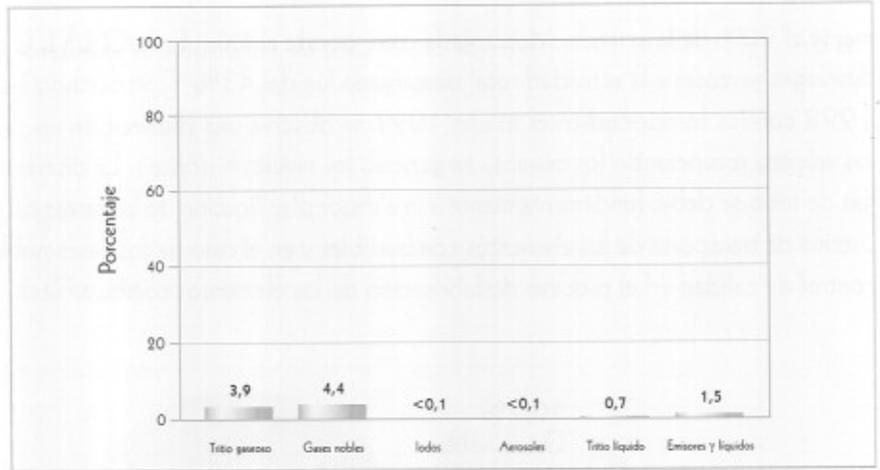
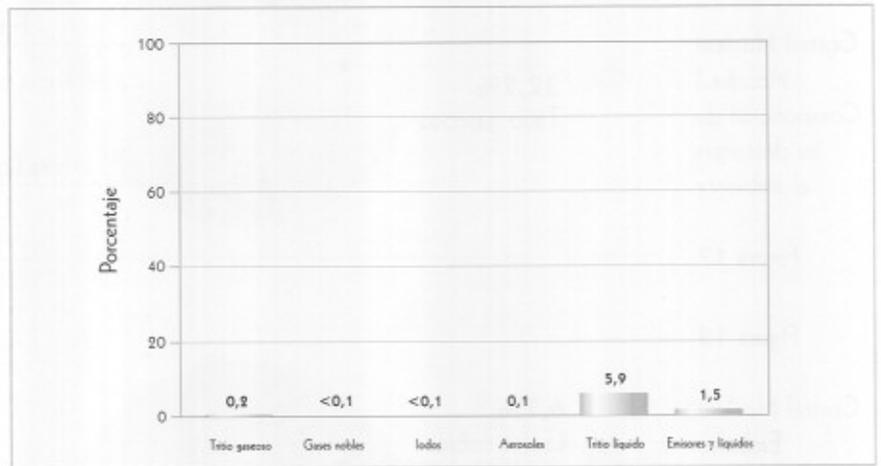


Figura 20
Descargas al ambiente
Central Nuclear Embalse
Porcentaje de la restricción anual

Figura 20



REACTORES DE INVESTIGACIÓN

Durante el año 1998, las descargas al ambiente del reactor de investigación y producción de radioisótopos RA 3 alcanzaron el 1% de la restricción anual y la descarga de efluentes radiactivos líquidos del RA 1 fue menor que el 0,1% de la restricción 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 sustancial de los radionucleidos antes de ingresar al medio ambiente. Las restricciones anuales para estas descargas fueron establecidas 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 dosis asignada a dicho grupo crítico. Las descargas líquidas alcanzaron el 12% de la restricción anual. Las descargas de efluentes radiactivos gaseosos resultaron menores que el 0,1% de la restricción anual.

Los conjuntos críticos no tienen autorizada la descarga de efluentes radiactivos al ambiente.

PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE RADIOISÓTOPOS

Durante el año 1998, las descargas al ambiente de las plantas de producción del centro atómico Ezeiza resultaron menores que las restricciones anuales para las descargas.

Las descargas gaseosas de la planta de producción de radioisótopos alcanzaron el 31% de la restricción anual. La importante disminución en este valor, respecto de 1997, se debió a las tareas de mantenimiento correctivo llevadas a cabo en el sistema de control de las descargas y a las mejoras introducidas en el mismo. Las descargas líquidas resultaron menores que el 0,1% de la restricción anual.

Las descargas al ambiente de la planta de producción de molibdeno 99 por fisión alcanzaron durante el año 1998 el 23% de la restricción anual y las descargas gaseosas de la planta de producción de fuentes encapsuladas resultaron menores al 0,1% de la restricción anual. Durante 1998, se registró un incidente operativo en esta última planta que implicó una descarga no prevista de cobalto 60 a la atmósfera de 3×10^5 Bq.

Cabe aclarar que la restricción anual para las descargas de las plantas de producción fue fijada para una dosis en el grupo crítico más de un orden de magnitud menor que los 0,3 mSv.

FABRICACIÓN DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES

Durante 1998, la descarga de efluentes radiactivos al ambiente de la fábrica de elementos combustibles nucleares (CONUAR S.A.) representó el 3% de la restricción anual para las descargas gaseosas y el 35% de la restricción anual para las descargas líquidas. Las descargas al ambiente en esta instalación se mantuvieron en el mismo orden, respecto del año anterior.

LABORATORIO ALFA

La descarga de los efluentes radiactivos al ambiente durante el año 1998 del laboratorio alfa, situado en el centro atómico Constituyentes, fue poco significativa, resultando menor que el 0,5% de la restricción anual.

DOSIS EN EL PÚBLICO

En la mayoría de los casos no es posible determinar por medio de mediciones directas en el ambiente o en el hombre, la dosis que recibe la población como consecuencia de la exposición a la radiación ambiental. Para ello resulta necesario utilizar modelos que representen el transporte de los radionucleidos a través del 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 compartimentos relacionados entre sí por parámetros de transferencia. El Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (en inglés UNSCEAR) ha desarrollado y adoptado, para estimar las dosis en la población, modelos de compartimentos en condiciones de equilibrio.

El material radiactivo descargado al ambiente se dispersa y se diluye en la atmósfera y en los cuerpos de agua. En la **Figura 21**, se representan a modo de ejemplo, las vías críticas de exposición del hombre debido a la descarga de radionucleidos en la atmósfera.

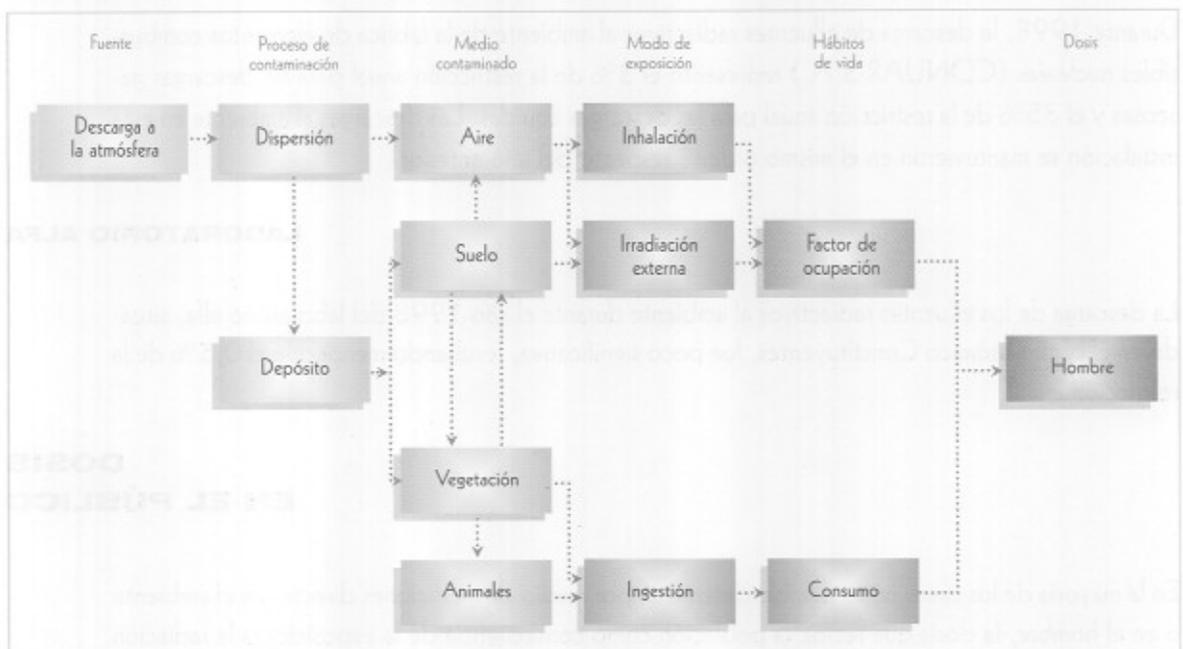
La Autoridad Regulatoria Nuclear utiliza los modelos de compartimentos en condiciones de equilibrio para estimar las dosis en la población debido a la operación de instalaciones radiactivas y nu-

cleares, y los modelos globales desarrollados por el UNSCEAR, para los radionucleidos de distribución mundial.

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).

Figura 21
Vías críticas de exposición debido a la descarga de radionucleidos en la atmósfera



La estimación de la irradiación interna de las personas, debida a la liberación de material radiactivo a la atmósfera comienza con la determinación de la concentración de los 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 llegar al hombre.

REACTORES DE INVESTIGACIÓN

La dosis en el grupo crítico resultante de la operación del reactor RA 3 durante 1998 fue 0,001 mSv. La misma resultó aproximadamente el 0,3% del valor de la restricción de dosis fijada 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 que 0,001 mSv.

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 1998, fue 0,001 mSv, lo cuál se encuentra más de dos órdenes de magnitud por debajo de los 0,3 mSv.

LABORATORIO ALFA

La dosis en el grupo crítico debido a la descarga de efluentes radiactivos a la atmósfera durante el año 1998 fue menor que 0,0001 mSv.

CENTRALES NUCLEARES

Dosis en el grupo crítico

La **Figura 22** muestra las dosis en los grupos críticos correspondientes a la CNA I y a la CNE. En la misma puede observarse que estas dosis están muy por debajo de la restricción de dosis para una instalación en particular, fijada por la ARN en 0,3 mSv. Durante 1988, las dosis resultaron menores al 2% de dicha restricción de dosis.

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 las descargas a la atmósfera, mientras que en la CNE el 99% de la dosis es debida a las descargas al lago.

Dosis colectiva

La siguiente tabla muestra los valores de dosis colectiva regional -hasta 2000 km- normalizada con la energía generada, para las centrales nucleares Atucha I y Embalse.

	Descargas gaseosas Sv hombre/GWa	Descargas líquidas Sv hombre/GWa	Descargas totales Sv hombre/GWa
Central Nuclear Atucha I	0,240	0,550	0,79
Central Nuclear Embalse	0,004	0,210	0,21

La dosis colectiva global normalizada con la energía generada, debido a las descargas de tritio, excluido el carbono 14, resultó 0,6 y 0,08 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 ARN en 15 Sv hombre por GW año. Cabe aclarar que las restricciones para las descargas de carbono 14 se establecieron en el país para la central nuclear Atucha II en construcción, no correspondiendo su aplicación para la CNA I y CNE.

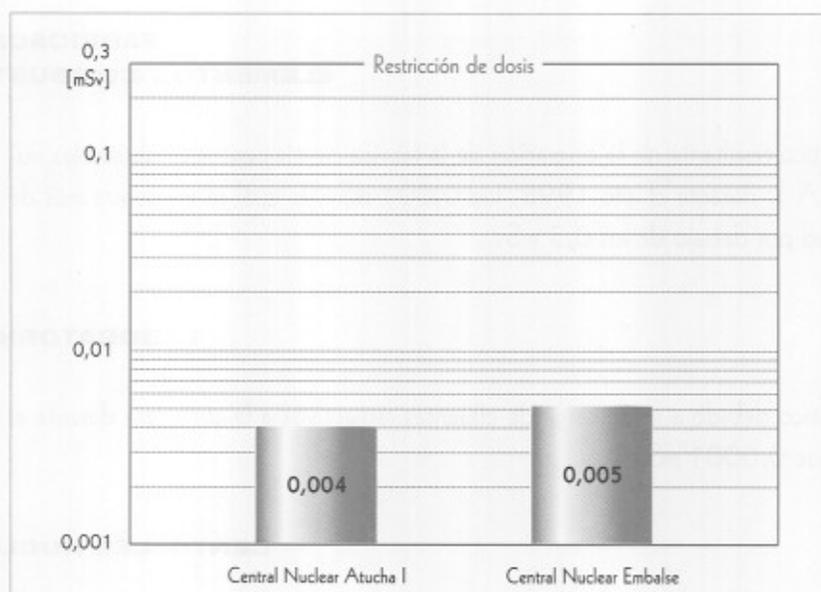


Figura 22

Centrales Nucleares
Dosis en el grupo crítico

PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE RADIOISÓTOPOS

La Figura 23 muestra la dosis en el grupo crítico resultante de la operación de las plantas de producción ubicadas en el centro atómico Ezeiza. Las mismas resultaron más de un orden de magnitud menores que 0,3 mSv, valor de restricción de dosis fijado por la ARN.

La dosis estimada en el grupo crítico como consecuencia del incidente registrado en la planta de producción de fuentes encapsuladas durante 1988, resultó menor que 0,00001 mSv.

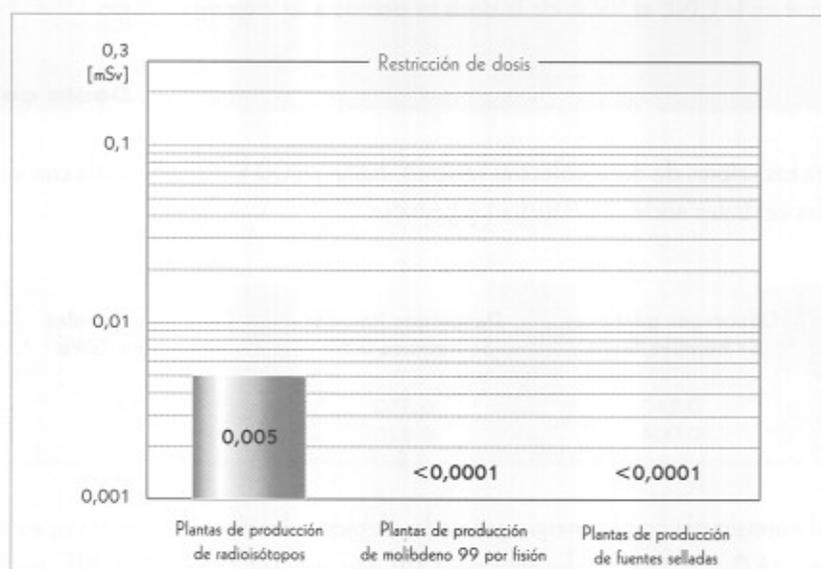


Figura 23

Plantas de producción
Dosis en el grupo crítico