

# Parte IV

## VIGILANCIA RADIOLÓGICA OCUPACIONAL Y AMBIENTAL

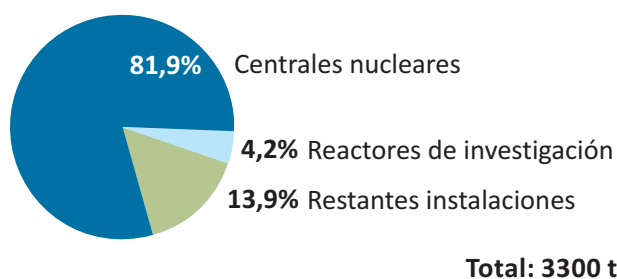
### Vigilancia radiológica ocupacional

#### Dosis ocupacionales

En esta sección se muestran los resultados de la evaluación de las dosis recibidas por los trabajadores de instalaciones relevantes y, en particular, de las centrales nucleares Atucha I y Embalse durante el año 2012. Se presenta el análisis de las distribuciones de dosis individuales y de las dosis colectivas correspondientes.

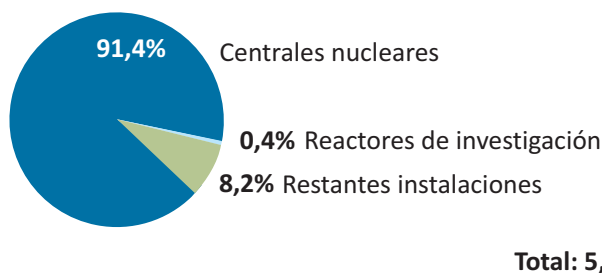
Las dosis, informadas por las instalaciones, corresponden a mediciones individuales de exposición a la radiación externa realizadas con dosímetros termoluminiscentes y dosímetros electrónicos; y estimaciones de dosis debidas a contaminación interna, a partir del análisis de muestras de orina y con mediciones realizadas en contador de cuerpo entero. Las dosis menores que el límite de detección: 0,01 mSv, fueron consideradas cero.

Las Figuras 1 y 2 muestran la contribución de las centrales nucleares al número total de trabajadores de instalaciones relevantes y a la dosis colectiva anual total. Estas contribuciones alcanzan el 82% y el 91%, respectivamente.



**Figura 1.**  
Distribución de  
trabajadores  
controlados en  
instalaciones  
relevantes

**Figura 2.**  
Distribución  
de la dosis  
colectiva  
anual en  
instalaciones  
relevantes



La Figura 3 presenta la distribución de dosis individuales recibidas por los trabajadores de la central nuclear Atucha I durante 2012. En la misma puede observarse que todos los trabajadores recibieron una dosis individual menor que 18 mSv, y el 50% de ellos recibió una dosis individual anual menor que 1 mSv.

Durante el año 2012 la CNA I efectuó una parada programada para mantenimiento preventivo y correctivo de 6 semanas de duración. En el desarrollo de las tareas de la parada se recibió el 72% de la dosis colectiva anual total. Las tareas que más contribuyeron a esa dosis colectiva fueron las inspecciones en servicio.

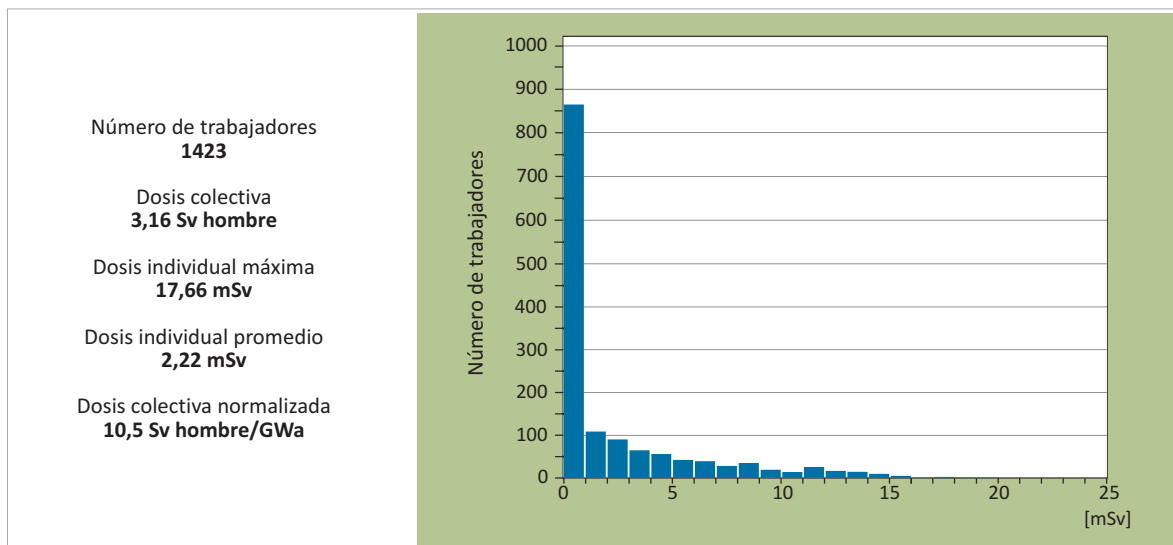


Figura 3. Central Nuclear Atucha I - Distribución de dosis individuales

En la Figura 4 se presenta la distribución de dosis individuales de los trabajadores de la CNE correspondiente al año 2012. De la misma surge que ningún trabajador recibió una dosis individual anual superior a 14 mSv. El 50% de ellos recibió una dosis individual anual menor que 1 mSv.

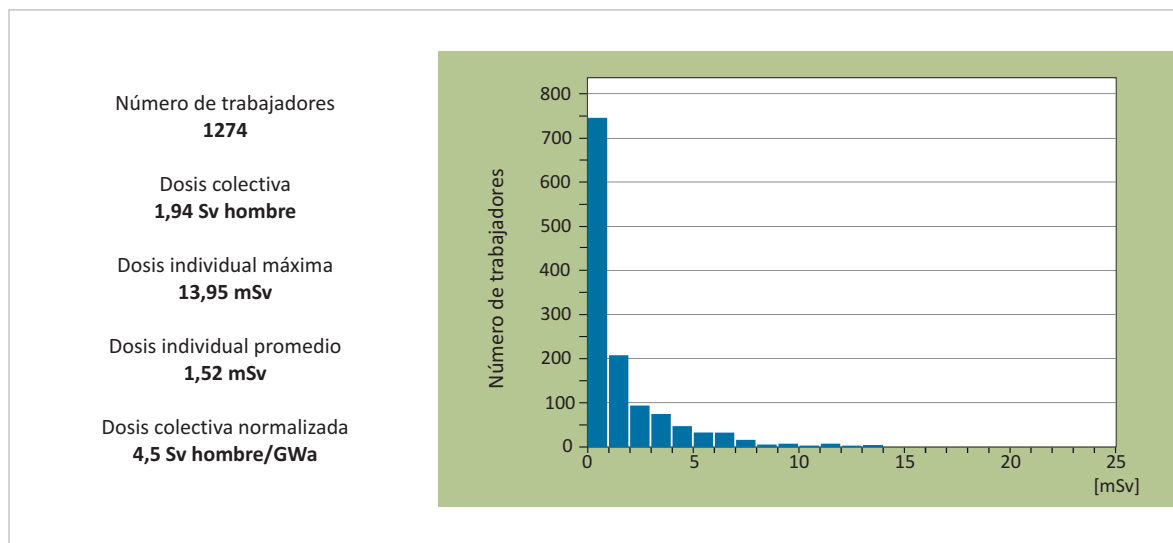


Figura 4. Central Nuclear Embalse - Distribución de dosis individuales

La CNE efectuó durante el año 2012 una parada programada para mantenimiento preventivo y correctivo de aproximadamente 7 semanas de duración. En el desarrollo de las tareas de la parada programada se recibió el 59% de la dosis colectiva anual total, siendo las inspecciones de los tubos de los generadores de vapor las tareas que más contribuyeron a esa dosis colectiva.

Con respecto a las dosis individuales acumuladas en el quinquenio (2008/2012), contabilizando las dosis recibidas en todas las instalaciones, todos los trabajadores recibieron menos de 20 mSv promedio anual.

En la tabla siguiente se presentan los parámetros correspondientes a las dosis colectivas y a las dosis colectivas normalizadas.

	Dosis colectiva Sv hombre	Dosis colectiva normalizada Sv hombre/GWa	Dosis colectiva debida a tritio %	Energía bruta generada GWa
Central Nuclear Atucha I	3,2	10,5	12	0,302
Central Nuclear Embalse	1,9	4,5	26	0,428

Los parámetros correspondientes a las distribuciones de dosis individuales para ambas centrales se presentan en el siguiente cuadro.

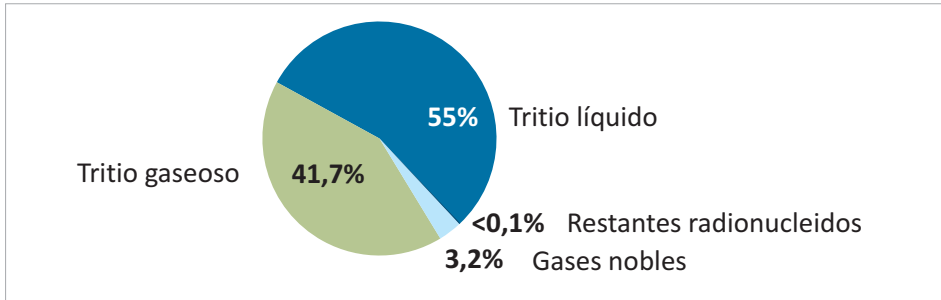
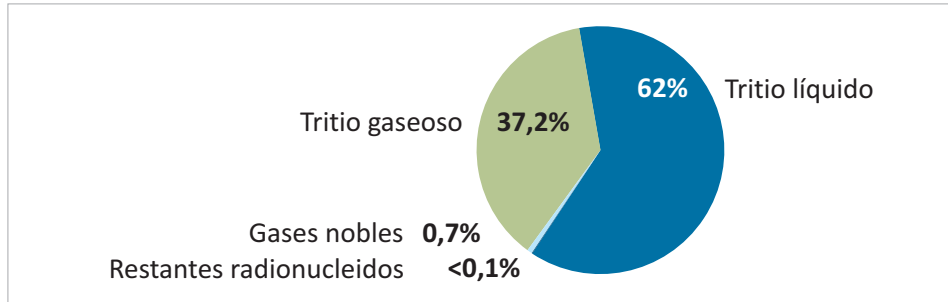
	Dosis promedio mSv	Dosis individual máxima mSv	Número de trabajadores
Central Nuclear Atucha I	2,2	17,66	1423
Central Nuclear Embalse	1,5	13,95	1274

## Descargas de material radiactivo al ambiente

En esta sección se presentan los valores correspondientes a la descarga controlada de efluentes radiactivos al ambiente durante la operación de las centrales nucleares en el año 2012.

Las Figuras 5 y 6 muestran la composición de las descargas de efluentes radiactivos gaseosos y líquidos al ambiente para la CNA I y CNE, respectivamente. En las mismas se observa la importante contribución del tritio a las descargas totales, de acuerdo a las características de estas centrales nucleares, la cual representó el 99% para la CNA I y 97% para la CNE. Cabe aclarar que el aumento en esta contribución para la CNE se debió al incremento en la descarga líquida de tritio debido a la pérdida de agua pesada en uno de los generadores de vapor de esta central.

**Figura 5. CNA I**  
Composición  
de las  
descargas  
al ambiente



**Figura 6. CNE**  
Composición  
de las  
descargas  
al ambiente

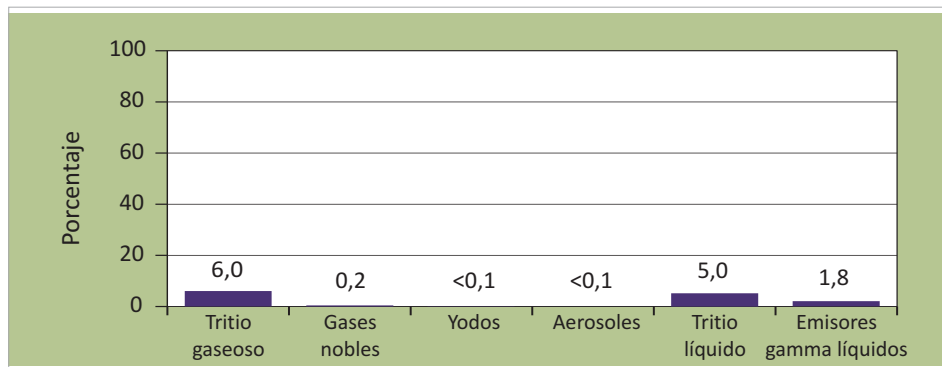
La ARN, adoptando un criterio conservativo y prospectivo, ha fijado para las restricciones anuales de descarga de efluentes radiactivos al ambiente, valores que corresponden a una dosis en el grupo crítico menor que la restricción de dosis establecida para diseño en la normativa argentina, en 0,3 mSv.

Control de  
descargas al  
ambiente en  
una central  
nuclear

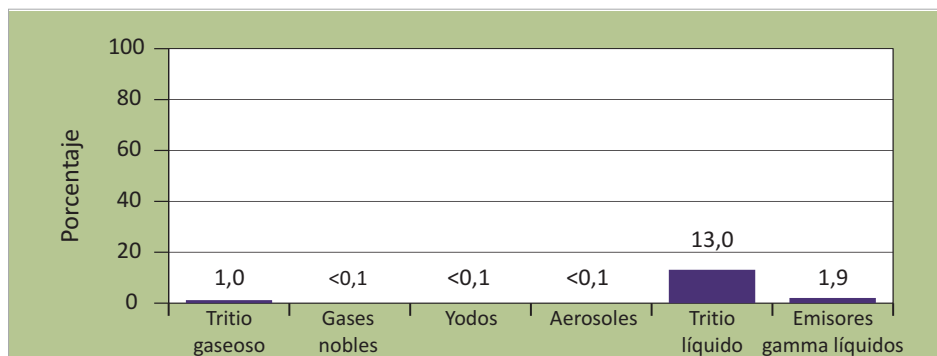


Las Figuras 7 y 8 muestran la fracción de la restricción anual que descargaron al ambiente las centrales nucleares durante 2012, para los distintos radionucleidos.

**Figura 7. CNA I**  
Descargas al ambiente.



**Figura 8. CNE**  
Descargas al ambiente.  
Porcentaje de la restricción anual

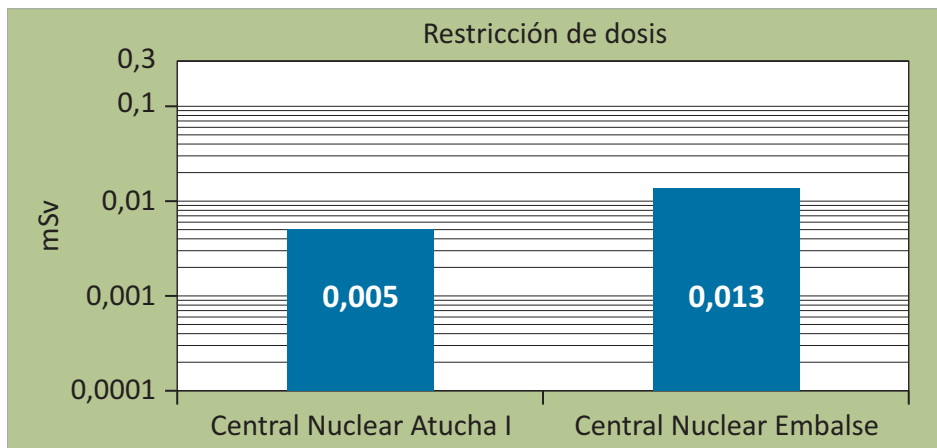


## Dosis en la población

### Dosis en el grupo crítico

La Figura 9 muestra las dosis promedio individual en los grupos críticos correspondientes a la CNA I y a la CNE debido a las descargas controladas de material radiactivo al ambiente. En la misma puede observarse que estas dosis, calculadas con un criterio más realista, están muy por debajo del límite de dosis para el público (1 mSv) representando menos del 2% de dicho límite.

**Figura 9.**  
Centrales Nucleares.  
Dosis en el grupo crítico



Las dosis promedio individual en el grupo crítico de cada central nuclear fueron determinadas a partir de las descargas al ambiente, medidas por las instalaciones, y la aplicación de los modelos de transferencia ambiental recomendados a nivel internacional.

### 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	0,29	0,70	0,99
Central Nuclear Embalse	0,03	0,60	0,63

La dosis colectiva global normalizada con la energía generada, debido a las descargas de tritio, resultaron 1,1 Sv hombre y 0,4 Sv hombre por GW año para la CNA I y la CNE, respectivamente.

## Vigilancia radiológica ambiental

La ARN realiza el monitoreo radiológico ambiental en los alrededores de las distintas instalaciones radiactivas y nucleares del país. Se efectúan mediciones de concentración de actividad en diferentes matrices ambientales cuyos resultados se comparan con los valores establecidos en recomendaciones y normas nacionales e internacionales, como así también con los valores obtenidos de los modelos ambientales aplicados por la ARN para el control de la protección radiológica de la población. Es de hacer notar que el monitoreo radiológico ambiental realizado, se lleva a cabo en forma totalmente independiente del que realizan las distintas instalaciones. Adicionalmente, esta tarea permite responder a inquietudes de la opinión pública sobre el tema.

Las instalaciones, alrededor de las cuales la ARN ha efectuado monitoreos radiológicos ambientales durante el año 2012 son: las centrales nucleares Atucha I (Provincia de Buenos Aires) y Embalse (Provincia de Córdoba), el Centro Atómico Ezeiza (Provincia de Buenos Aires), el Centro Atómico Bariloche y el Complejo Tecnológico Pilcaniyeu (ambos en la Provincia de Río Negro), la Planta de Conversión de Dióxido de Uranio de DIOXITEK y la Regional Centro de la CNEA, ambas en la Ciudad de Córdoba; el Complejo minero fabril Sierra Pintada, en San Rafael, y el Ex Complejo minero fabril Malargüe (ambos en la Provincia de Mendoza), los Ex Complejos minero fabriles Los Gigantes (Provincia de Córdoba), La Estela (Provincia de San Luis), Tonco (Provincia de Salta), Pichiñán (Provincia de Chubut) y Los Colorados (Provincia de La Rioja); ver Figura 10.

Además, se efectuó el monitoreo radiológico ambiental en áreas no relacionadas con las instalaciones radiactivas y nucleares, con el objeto de determinar la contribución de fuentes radiactivas artificiales ("fallout": lluvia radiactiva, caída y

deposición de partículas radiactivas desde la atmósfera, originadas en explosiones o accidentes nucleares) en las muestras ambientales, de forma de disponer de niveles referenciales de radionucleidos en matrices ambientales en zonas no influenciadas por instalaciones nucleares o radiactivas.



**Figura 10.**  
Instalaciones bajo control ambiental

Asimismo, desde el año 1983 y hasta el año 2011 la ARN llevó a cabo un plan de medición de gas radón en el interior de viviendas de la República Argentina. Estas determinaciones se realizaron en diferentes ciudades del país, abarcando gran parte de la geografía de nuestro territorio. Como resultado de las mismas se concluye que de las más de 3200 determinaciones realizadas el valor promedio es de 51 Bq/m<sup>3</sup>, y en ningún caso se superó el nivel de referencia recomendado por la normativa vigente. Es importante señalar que la Norma Básica de Seguri-

dad Radiológica establece que, cuando la concentración promedio anual de radón en el interior de las viviendas exceda los  $400 \text{ Bq/m}^3$ , se deben adoptar medidas para reducir la concentración del gas radón, como por ejemplo, ventilar los ambientes. En ninguna de las más de 3200 determinaciones realizadas en viviendas de nuestro país se superó este valor, concluyéndose entonces que, en Argentina los niveles de radón en el interior de viviendas en condiciones de ocupación normal, se encuentran dentro de valores aceptables para la población.

En la actualidad, este plan de medición de gas radón en aire está centrado en las viviendas próximas a los complejos y ex-complejos de la minería de uranio.

Monitoreo radiológico ambiental.  
Toma de muestras, alrededores del CAE.



En el año 2012 el programa de monitoreo ambiental de gas radón se centró en la medición de concentración de radón en aire en aquellas viviendas asociadas a los sitios relacionados con la minería de uranio.

Las tablas de resultados obtenidos se confeccionaron con los siguientes criterios: los resultados se presentan para cada matriz ambiental analizada, informándose los resultados por radionucleido analizado y por punto de muestreo.

Dichos resultados se presentan en forma de valores promedio, máximo y mínimo, número de muestras analizadas en el año y el número de resultados cuyo valor fue superior al límite de detección de la técnica utilizada para realizar el análisis. Algunas matrices se muestrean en forma anual, en cuyo caso se presenta únicamente el resultado obtenido.

En el caso de las tablas destinadas a los sitios vinculados con la minería del uranio: Los distintos yacimientos, la Planta de Conversión de Dióxido de Uranio/Complejo Fabril Córdoba y el Complejo Tecnológico Pilcaniyeu, donde los muestreos y análisis se realizan en forma anual, los resultados se informan separados por radionucleido analizado y por ubicación de los puntos de muestreo con respecto a la



instalación monitoreada (en general aguas arriba y aguas abajo). Es así que los resultados se presentan en la forma de valores promedio, máximo y mínimo, número de muestras analizadas aguas arriba o aguas abajo y el número de resultados cuyo valor fue superior al límite de detección de la técnica utilizada para realizar el análisis.

Con relación al límite de detección (LD), en las tablas se indica el mayor límite de detección determinado para cada técnica.

Los valores promedio se calculan cuando se cuenta con al menos dos resultados por encima del límite de detección, en caso contrario se indica que ese valor no es aplicable bajo la sigla "na".

Para el caso en que no haya ningún valor por encima del límite de detección, se indicará que el valor máximo es menor al límite de detección en tanto que la sigla "na" se indicará como valor mínimo ya que no aplica informar dicho valor.

Monitoreo  
radiológico  
ambiental.  
Laboratorio  
Mediciones  
Radiológicas



## Centrales nucleares

### Central Nuclear Atucha I (CNA I)

La 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. Para el monitoreo radiológico ambiental rutinario 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 los distintos cuerpos de agua, sedimentos y peces. Se realizó el monitoreo del agua de consumo humano extraída de pozos cercanos a la central.

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas a la atmósfera, se tomaron y analizaron muestras de aire, suelo y de alimentos producidos en la zona, tales como leche y vegetales. Adicionalmente, se realizó la medición de tasa de dosis ambiental. También se determinaron los niveles de tritio en muestras de condensado de humedad.

La ubicación de los puntos de muestreo de las matrices mencionadas se presentan en los mapas de la Figura 11.

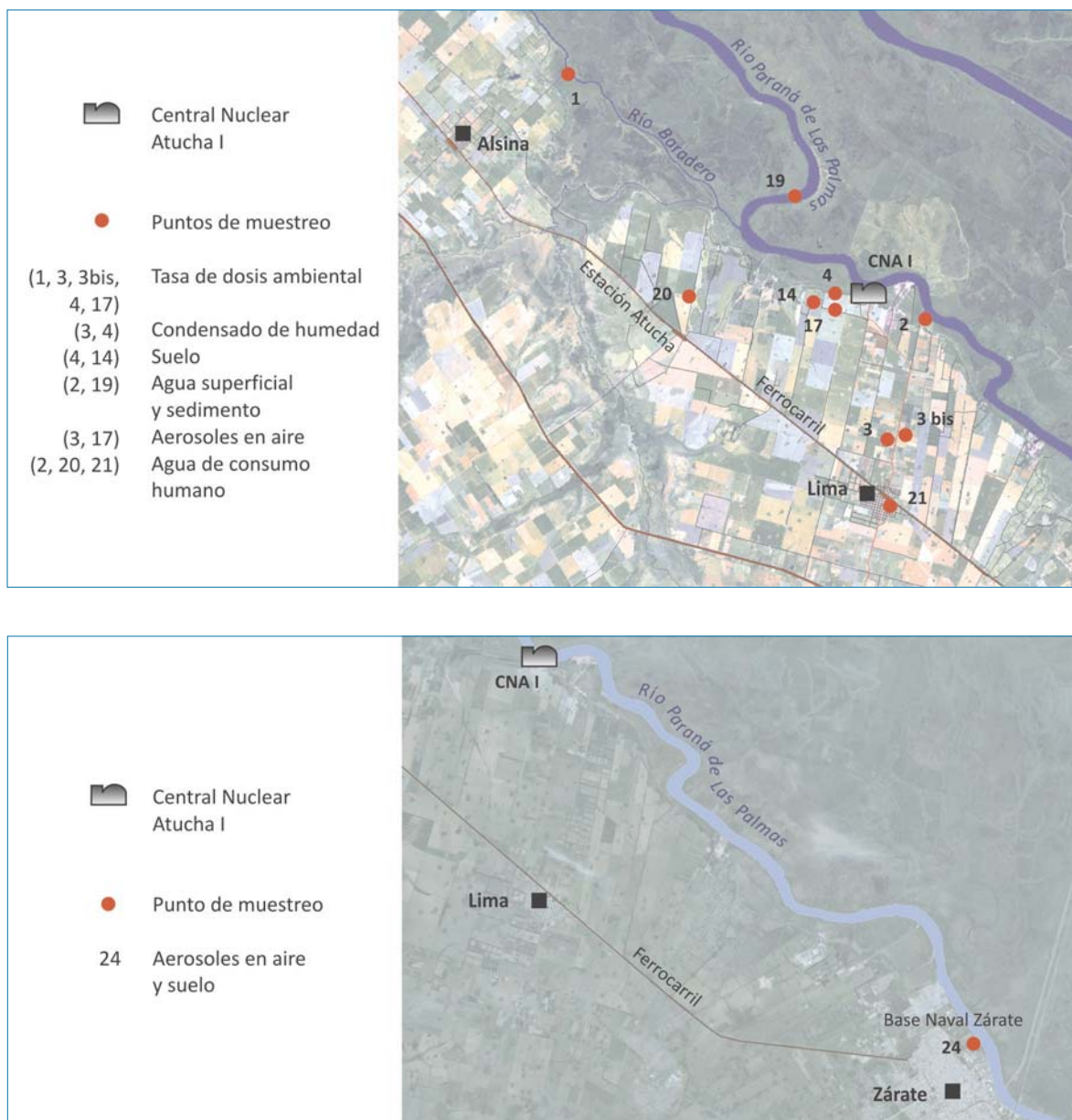


Figura 11. Central Nuclear Atucha I (Provincia de Buenos Aires)

Las muestras de agua de río se tomaron trimestralmente en un punto del río Parará de las Palmas considerado como punto de muestreo blanco o background, ubicado 5,1 km aguas arriba de la central (Figura 11, punto 19), y mensualmente en otro punto del mismo río, aproximadamente 3 km aguas abajo de la central (Figura 11, punto 2).

Los sedimentos, por ser matrices acumuladores, se muestrearon una vez en el año a la altura de los puntos de muestreo utilizados para el agua de río, tanto en profundidad como en su orilla oeste.

El agua de consumo en la zona de Lima proviene de fuentes subterráneas. Las muestras fueron tomadas mensualmente en una escuela ubicada a 7,1 km al este de la CNA I, considerándose este punto un punto blanco o de background por ubicarse napas arriba de la central (Figura 11, punto 20), en un punto a 3 km napas abajo de la CNA I (Figura 11, punto 2), y en otro punto dentro de la ciudad de Lima, donde se almacena agua proveniente de varios pozos (Figura 11, punto 21). En todos los casos la frecuencia de muestreo fue mensual.

Las muestras de peces se obtuvieron en forma mensual (con excepciones en meses de bajo pique) para la conformación de muestras compuestas (pooles) semestrales, aproximadamente a la altura del punto de muestreo del río aguas abajo de la central.

La tasa de dosis ambiental se mide en forma continua a través de detectores de termoluminiscencia (TLD), para obtener promedios anuales. Los mismos se ubicaron en 5 puntos alrededor de la CNA I (Figura 11, puntos 1, 3, 3bis, 4 y 17).

Los equipos condensadores están ubicados, uno a 7,4 km de la CNA I y el otro a 1 km vientos abajo de la CNA I (Figura 11, puntos 3 y 4). Los equipos condensan la humedad del aire en forma continua y las muestras se separaron semanalmente.

Con respecto a la matriz aire, se realizó una única vez en el año, en forma integrada durante una semana, el monitoreo de material particulado total "TSP" (Total Suspended Particulate Matter), de manera que la totalidad de los aerosoles presentes en una muestra de aire es recolectada sobre un filtro de alta eficiencia. Se utilizaron tres puntos de muestreo, dos de ellos muy próximos a los equipos condensadores de humedad (Figura 11, puntos 3 y 17), y el tercero, ubicado en la ciudad de Zárate, vientos arriba de la CNA I (Figura 11, punto 24).

Las muestras de suelo se tomaron también anualmente, en puntos cercanos a los de condensados y TSP (Figura 11, puntos 4, 14 y 24).

Con respecto al monitoreo de alimentos, se seleccionaron muestras de productos de quinta cultivados lo más próximo posible a la CNA I. Dentro de lo posible (considerando las fechas de crecimiento de las distintas verduras) se recolecta

muestras en forma mensual. Las muestras de leche se obtienen en forma semanal, de tambos con zonas de pastoreo ubicadas dentro de un radio de 5 km alrededor de la central.

Sobre las muestras de agua de río, agua de napa y agua de consumo, se realizaron determinaciones de tritio con frecuencia mensual, determinaciones de actividad alfa-beta total con frecuencia trimestral, y determinaciones de cesio 137, cobalto 60 y estroncio 90 sobre muestras compuestas (“pooles”) trimestrales. En las muestras de sedimentos de fondo se realizaron determinaciones de cesio 137, cobalto 60 y estroncio 90, mientras que en las muestra de orilla solo se determinó cesio 137, cobalto 60. En peces también se determinó cesio 137, cobalto 60 y estroncio 90 en pooles semestrales.

Las muestras semanales de condensado fueron utilizadas para realizar ensayos también semanales de tritio. A los filtros de aire utilizados en los muestreos de TSP se les realizaron ensayos de cesio 137, cobalto 60, yodo 131, estroncio 90 y uranio natural. En los suelos también se practicaron ensayos de cesio 137, cobalto 60 y estroncio 90. A las muestras de vegetales se les realizaron ensayos mensuales de tritio y ensayos semestrales de cesio 137, cobalto 60 y estroncio 90 sobre muestras compuestas (pooles) semestrales. A las muestras de leche se les realizaron ensayos mensuales de yodo 131, ensayos de tritio en pooles trimestrales y ensayos de cesio 137, cobalto 60 y estroncio 90 sobre pooles semestrales.

Con el fin de acondicionarlas para los ensayos, las muestras fueron pretratadas de acuerdo a procedimientos vigentes: Las muestras de agua son filtradas (excepto las aguas de consumo), acidificadas (cuando la técnicas de ensayo lo permiten), y en caso de ser necesario, concentradas mediante evaporación para bajar el límite de detección; los sedimentos y suelos son secados en estufa y tamizados por malla de 2 mm; los filtros de aire son compactados y las muestras de alimentos son calcinadas y las cenizas resultantes compactadas en discos.

Los ensayos de los emisores gamma cesio 137, cobalto 60 y yodo 131 se efectúan por espectrometría gamma mediante detectores de germanio hiperpuro, en condiciones geométricas normalizadas específicas para las distintas matrices. Las concentraciones de estroncio 90 fueron determinadas 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. Las determinaciones de uranio en agua se realizaron por Fluorimetría, fosforescencia cinética o por espectrometría alfa, según la matriz bajo determinación y el límite de detección requerido. Las determinaciones de tritio se realizaron por centelleo líquido, al igual que las determinaciones de emisores alfa-beta totales. En este último caso, cuando los resultados de actividad alfa o beta superaron los niveles de referencia de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para aguas potables, publicados en la “Guía para la Calidad del Agua Potable” (Capítulo 9 de la Revisión 4 del año 2011), se analizaron los radionucleidos individuales correspondientes.

Durante el año 2012 se tomaron en total 180 muestras en los diferentes puntos de muestreo, sobre las que se realizaron diversas determinaciones y análisis radioquímicos.

En la siguiente tabla se presenta la frecuencia de muestreo y ensayo de los radionucleidos determinados para cada matriz analizada.

Tipo de muestra	Radionucleido a analizar (*)	Frecuencia de muestreo	Frecuencia de ensayo
Tasa de dosis ambiental	emisores gamma	continua, con dosímetros (TLD)	semestral
Particulado en aire	emisores gamma	anual (muestra integrada de 1 semana)	anual
	estroncio 90		
	uranio		
Condensado de humedad	tritio	continua	semanal
Leche de vaca de la zona	yodo 131	mensual	mensual
	tritio		pool trimestral
	emisores gamma	semanal	pool trimestral
	estroncio 90		
Suelos	emisores gamma	anual	anual
	estroncio 90		
Vegetales y frutas de la zona	tritio	mensual	pool trimestral
	emisores gamma		pool semestral
	estroncio 90		
Agua superficial (de río)	tritio	mensual	mensual
		trimestral	trimestral
	emisores gamma	mensual	pool trimestral
		trimestral	trimestral
	emisores alfa - beta	mensual	pool trimestral
		trimestral	trimestral
Agua de consumo humano (agua subterránea)	tritio	mensual	mensual
	emisores gamma		pool trimestral
	emisores alfa - beta		
Sedimentos de río (fondo y orilla)	emisores gamma	anual	anual
	estroncio 90 (sólo sedimentos de fondo)		
Peces (pesca del río Paraná en zona de influencia de la central)	emisores gamma	mensual	pool semestral
	estroncio 90		

(\*) Emisores gamma se refiere a cesio 137 y cobalto 60.

Los valores de actividad medidos en las muestras mencionadas se pueden observar en las siguientes tablas:

Concentración de actividad en aguas del río Paraná					
Aguas arriba de CNA I (punto CNA 19)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD	0,21
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na	<LD
Nº muestras analizadas	3	3	3	3	3
Nº análisis > LD	0	0	0	0	1
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,02; cobalto 0,02; emisores $\alpha$ 0,05; emisores $\beta$ 0,1					
Aguas abajo de CNA I - Grupo representativo (punto CNA 2)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na	0,13
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	0,06	0,15
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	<LD	<LD
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis > LD	0	0	0	1	3
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,03; cobalto 0,02; emisores $\alpha$ 0,05; emisores $\beta$ 0,083					

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en sedimentos del río Paraná					
Aguas arriba de CNA I (punto CNA 19)					
	sedimento de orilla		sedimento de fondo		
	cesio 137	cobalto 60	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	1,4	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	1	1	1	1	1
Nº análisis > LD	0	0	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,5; cobalto 0,7; estroncio 2,6					
Aguas abajo de CNA I - grupo representativo (punto CNA 2)					
	sedimento de orilla		sedimento de fondo		
	cesio 137	cobalto 60	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	1,1	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	1	1	1	1	1
Nº análisis > LD	1	0	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,7; cobalto 0,6; estroncio 2,9					

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en aguas de consumo humano (proveniente de aguas subterráneas)					
Napas arriba de CNA I (punto CNA 20)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	na	na	na	0,28	0,66
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	0,32	0,79
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	0,26	0,52
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis > LD	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,02; cobalto 0,02					
Napas abajo de CNA I (punto CNA 2)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	na	na	na	0,10	0,25
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	0,13	0,32
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	0,08	0,11
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis > LD	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,03; cobalto 0,02					
Agua de la ciudad de Lima (punto CNA 21)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	na	na	na	0,21	0,47
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	0,18	0,58
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	0,25	0,38
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis > LD	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,02; cobalto 0,02					

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en peces del río Paraná			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,10; cobalto 0,10; estroncio 0,23			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Tasa de dosis ambiental CNA I - nGy/h (promedio anual)				
punto CNA 1	punto CNA 4	punto CNA 17	punto CNA 3	punto CNA 3 bis
53,8	62,2	58,1	52,7	52,7

Concentración de actividad en muestras de aerosoles totales en aire ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )				
Vientos arriba de CNA I (punto CNA 24)				
cesio 137	cobalto 60	yodo 131	estroncio 90	uranio natural <sup>(*)</sup>
<LD	<LD	<LD	<LD	1,00 (0,00004 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 1,59; cobalto 1,59; yodo 1,59; estroncio 3,9				
Vientos abajo de CNA I (punto CNA 17)				
cesio 137	cobalto 60	yodo 131	estroncio 90	uranio natural <sup>(*)</sup>
<LD	<LD	<LD	<LD	0,50 (0,00002 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 1,38; cobalto 1,38; yodo 1,38; estroncio 4,0				
Punto de interés público (punto CNA 3)				
cesio 137	cobalto 60	yodo 131	estroncio 90	uranio natural <sup>(*)</sup>
<LD	<LD	<LD	<LD	2,48 (0,000099 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 1,52; cobalto 1,52; yodo 1,52; estroncio 4,6				

(\*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 25100  $\mu\text{Bq}/\mu\text{g}$  (NPL Report IR6, enero 2008).

LD = mayor límite de detección determinado

Concentración de actividad en condensados de humedad		
	Punto de interés público (punto CNA 3)	Vientos abajo de CNA I (punto CNA 4)
	tritio	tritio
Promedio ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )	0,5	5,2
Máximo ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )	2,2	18,0
Mínimo ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )	<LD	0,4
Nº muestras analizadas	42	41
Nº análisis > LD	26	41
LD ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ): 0,2		

LD = mayor límite de detección determinado

Concentración de actividad en alimentos vegetales de la zona				
Frutas				
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio ( $\text{Bq}/\text{kg}$ )	24,4	na	na	na
Máximo ( $\text{Bq}/\text{kg}$ )	48,4	<LD	<LD	<LD
Mínimo ( $\text{Bq}/\text{kg}$ )	7,1	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	2	2	2
Nº análisis > LD	4	0	0	0
LD ( $\text{Bq}/\text{kg}$ ): cesio 0,005; cobalto 0,005; estroncio 0,08				
Verduras de hoja				
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio ( $\text{Bq}/\text{kg}$ )	62,8	na	na	na
Máximo ( $\text{Bq}/\text{kg}$ )	168	<LD	<LD	<LD
Mínimo ( $\text{Bq}/\text{kg}$ )	<LD	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	2	2	2
Nº análisis > LD	3	0	0	0
LD ( $\text{Bq}/\text{kg}$ ): tritio 11,0; cesio 0,01; cobalto 0,01; estroncio 0,14				

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable



Concentración de actividad en suelos			
Vientos arriba de CNA I (punto CNA 24)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	1	1	1
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,6; cobalto 0,4; estroncio 4,2			
Grupo representativo de CNA I (punto CNA 14)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	1,8	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	1	1	1
Nº análisis > LD	1	0	0
LD (Bq/kg): cobalto 0,3; estroncio 2,2			
Vientos abajo de CNA I (punto CNA 4)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	1,9	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	1	1	1
Nº análisis > LD	1	0	0
LD (Bq/kg): cobalto 0,3; estroncio 1,9			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en leche de la zona (Bq/l)					
Pequeños tambos familiares de la zona					
	tritio	yodo 131	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	29	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	<LD	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	3	9	3	3	3
Nº análisis > LD	1	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 7,0; yodo 0,2; cesio 0,007; cobalto 0,007; estroncio 0,07					

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

## Conclusiones

Los resultados de las mediciones realizadas en las distintas muestras analizadas, indican que se detectó la presencia de tritio en muestras de condensado de humedad y en alimentos. Cabe destacar que los valores resultantes son insignificantes desde el punto de vista radiológico y son coherentes con los que se obtienen a través de modelos de dispersión en el ambiente.

En el caso de las muestras de agua, cabe señalar que todos los resultados analizados de actividad alfa-beta resultaron ser menores a los valores guía establecidos por la OMS (0,5 y 1,0 Bq/l, respectivamente).

Los valores medidos de concentración de actividad alfa beta total en aguas se deben a la presencia de radionucleidos naturales encontrados habitualmente en el medio ambiente.

Asimismo, las trazas de cesio 137 detectadas en algunas muestras de sedimentos y de suelos son consistentes con los valores reportados por la bibliografía internacional y son atribuibles a las explosiones nucleares realizadas en el pasado.

Los niveles de uranio medidos en las muestras de aire son consistentes con los resultados reportados por la bibliografía internacional para sitios no relacionados con instalaciones nucleares (UNSCEAR 2000-2008).

El promedio de los niveles de tasa de dosis ambiental medido en la zona resultó igual a 55,9 nGy/h, el cual es consistente con el valor medio de 58 nGy/h informado por UNSCEAR para sitios no influenciados por instalaciones nucleares.

Del análisis de todos los resultados de las mediciones de concentración de actividad en las distintas muestras analizadas correspondientes al monitoreo ambiental en los alrededores de la CNA I, se concluye que estos se corresponden con los obtenidos a través de los modelos de cálculo aplicados por la ARN para estimar la dosis en los individuos más expuestos, y son inferiores a los establecidos en la normativa vigente.

### Central Nuclear Embalse (CNE)

---

La CNE está ubicada sobre la margen este del Embalse Río Tercero, en el centro-oeste de la Provincia de Córdoba. Para el monitoreo radiológico ambiental rutinario en los alrededores de la CNE, se tomaron muestras representativas de los diferentes compartimentos de la matriz ambiental de transferencia de radionucleidos.

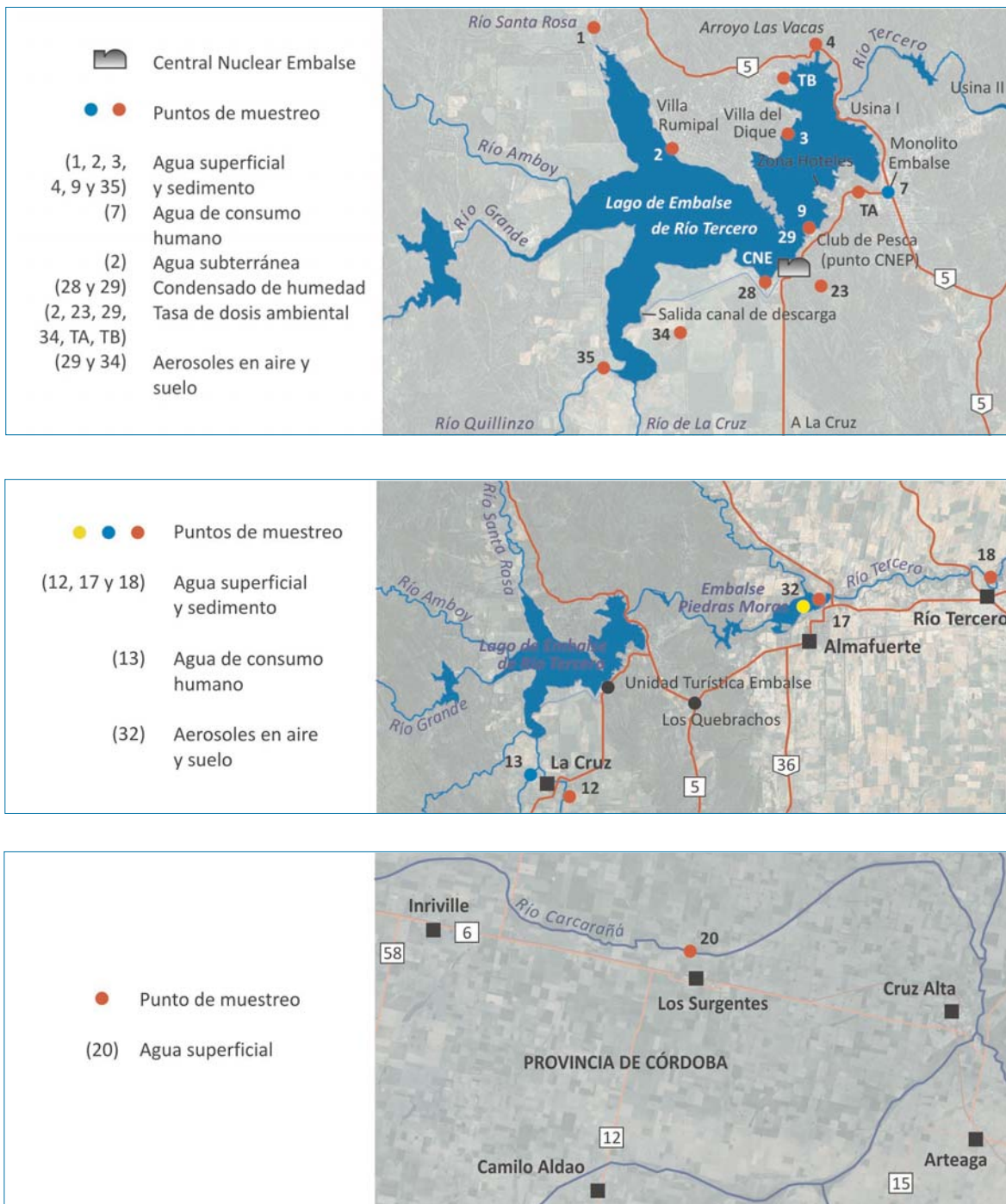
Al igual que en el caso de la CNA I, para evaluar el impacto ambiental de las descargas líquidas, se tomaron y analizaron muestras de los distintos cuerpos de agua, sedimentos y peces. Se realizó el monitoreo del agua de consumo humano extraída de la zona céntrica de la ciudad de Embalse.

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas a la atmósfera, se tomaron y analizaron muestras de aire, suelo y de alimentos producidos en la zona, tales como leche y vegetales. Adicionalmente, se realizó la medición de tasa de dosis ambiental. También se determinaron los niveles de tritio en muestras de condensado de humedad.

En la Figura 12 se presenta la ubicación de los puntos de muestreo de las distintas matrices ambientales mencionadas.

Las muestras de aguas y sedimentos (de orilla) del lago del Embalse Río Tercero fueron tomadas mensualmente en puntos de muestreo a la altura del Club de Pesca Río Tercero y del balneario-camping de Villa Rumipal (Figura 12, puntos 9 y 2), así como una vez en el año a la altura de Villa del Dique (Figura 12, punto 3).

Con el fin de determinar valores de background, se tomaron muestras anuales de aguas y de sedimentos en los ríos Santa Rosa, Quillinzo (Figura 12, puntos 1 y 35) y La Cruz (Figura 12, punto 12), que alimentan el embalse. Se tomaron muestras anuales de aguas y de sedimentos aguas abajo del embalse, más específicamente en el Arroyo Las Vacas (Figura 12, punto 4) y en el Embalse Piedras Moras de la ciudad de Almafuerde (Figura 12, punto 17), y solamente de aguas en el Balneario Río Tercero de la ciudad del mismo nombre (Figura 12, punto 18) y en el Río Carcarañá, a la altura de Los Surgentes (Figura 12, punto 20).



**Figura 12.** Alrededores de la Central Nuclear Embalse (Provincia de Córdoba)

En el camping-balneario de Villa Rumipal, también se muestreó en forma mensual agua subterránea (napa).

En la ciudad de Embalse el agua de consumo proviene del Embalse del Río Terce-ro, por lo que se tomaron mensualmente muestras de agua de consumo en la ciudad. Asimismo, se tomó una muestra anual de agua de consumo de la ciudad de La Cruz.

Las muestras de peces fueron tomadas en el embalse con una frecuencia mensual, para la conformación de muestras compuestas (pooles) semestrales.

La tasa de dosis ambiental se mide en forma continua a través de detectores de termoluminiscencia (TLD), para obtener promedios anuales. Los mismos se ubi-caron en 6 puntos alrededor de la CNE (Figura 12, puntos 2, 23, 29, 34, TA y TB).

Las muestras de condensado de humedad fueron tomadas por dos equipos con-densadores ubicados uno de ellos a una distancia de 1500 m en la dirección predo-minante de los vientos, y el otro a 800 m en dirección SSO de la chimenea de descargas gaseosas (Figura 12, puntos 29 y 28). Los equipos condensan la hume-dad del aire en forma continua y las muestras fueron separadas semanalmente.

Con respecto a la matriz aire, al igual que para el monitoreo de la CNA I, se realizó una única vez en el año, en forma integrada durante una semana, el monitoreo de material particulado total. Se utilizaron tres puntos de muestreo: el primero de ellos vientos debajo de la CNE, junto al equipo condensador (Figura 12, punto 29), el segundo de ellos también en una dirección predominante de los vientos, pero más alejado de la central (Figura 12, punto 34) y el tercero de ellos cercano al em-balse Piedras Moras, vientos arriba de la CNE (Figura 12, punto 32).

Las muestras de suelo, al igual que las de sedimentos de lagos y ríos, son matrices que acumulan los elementos a través del tiempo, por lo que requieren una baja frecuencia de muestreo. En este caso, fueron tomadas una vez en el año, en los mismos puntos de muestreo en los que se tomaron las muestras de aire.

Con respecto al monitoreo de alimentos, se seleccionaron muestras de produc-tos de quinta cultivados en las proximidades de la CNE. Dentro de lo posible (con-siderando las fechas de crecimiento de las distintas verduras y teniendo en cuenta que la zona no es apta para el cultivo comercial de verduras y frutas) se recolecta-ron muestras en forma mensual, para la conformación de pooles trimestrales. Las muestras de leche se obtuvieron en forma semanal, de tambos con zonas de pas-toreo ubicadas dentro de un radio de 8 km alrededor de la central.

Sobre las muestras de agua de río, agua de napa y agua de consumo, se realiza-ron determinaciones de tritio con frecuencia mensual, determinaciones de acti-vidad alfa-beta total con frecuencia trimestral, y determinaciones de cesio 137, cobalto 60 y estroncio 90 sobre pooles trimestrales. En las muestras de sedimen-

tos se realizaron determinaciones de cesio 137, cobalto 60 y estroncio 90 en peces también se determinó cesio 137, cobalto 60 y estroncio 90 en los pools semestrales.

Las muestras semanales de condensado fueron utilizadas para realizar ensayos también semanales de tritio. A los filtros de aire utilizados en los muestreos de aire se les realizaron ensayos de cesio 137, cobalto 60, yodo 131, estroncio 90 y uranio natural. En los suelos también se practicaron ensayos de cesio 137, cobalto 60 y estroncio 90. A las muestras de vegetales se les realizaron ensayos mensuales de tritio y ensayos semestrales de cesio 137, cobalto 60 y estroncio 90 sobre las muestras compuestas semestrales. a las muestras de leche se les realizaron ensayos mensuales de yodo 131, ensayos de tritio en pools trimestrales y ensayos de cesio 137, cobalto 60 y estroncio 90 sobre pools semestrales.

Con el fin de acondicionarlas para los ensayos, las muestras fueron pretratadas de acuerdo a procedimientos vigentes: las muestras de agua son filtradas (excepto las aguas de consumo), acidificadas (cuando la técnicas de ensayo lo permiten), y en caso de ser necesario, concentradas mediante evaporación para bajar el límite de detección; los sedimentos y suelos son secados en estufa y tamizados por malla de 2 mm; los filtros de aire son compactados y las muestras de alimentos son calcinadas y las cenizas resultantes compactadas en discos.

Los ensayos de los emisores gamma cesio 137, cobalto 60 y yodo 131 se efectúan por espectrometría gamma mediante detectores de germanio hiperpuro, en condiciones geométricas normalizadas específicas para las distintas matrices. Las concentraciones de estroncio 90 fueron determinadas 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. Las determinaciones de uranio en agua se realizaron por fluorimetría, fosforescencia cinética o por espectrometría alfa, según la matriz bajo determinación y el límite de detección requerido. Las determinaciones de tritio se realizaron por centelleo líquido, al igual que las determinaciones de emisores alfa-beta totales. En este último caso, cuando los resultados de actividad alfa o beta superan los niveles guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para aguas potables, publicados en la "Guía para la Calidad del Agua Potable" (Capítulo 9 de la Revisión 4 del año 2011), se analizan los radionucleidos individuales correspondientes.

Durante el año 2012 se recolectaron en total 204 muestras. Sobre las mismas se realizaron diversos tipos de análisis y determinaciones radioquímicas.

En la siguiente tabla se presenta la frecuencia de muestreo y ensayo de los radionucleidos determinados para cada matriz analizada.



Tipo de muestra	Radionucleido a analizar <sup>(*)</sup>	Frecuencia de muestreo	Frecuencia de ensayo
Tasa de dosis ambiental	emisores gamma	continua, con dosímetros (TLD)	semestral
Particulado en aire	emisores gamma	anual (muestra integrada de 1 semana)	anual
	estroncio 90		
	uranio		
Condensado de humedad	tritio	continua	semanal
Leche de vaca de la zona	yodo 131	mensual	mensual
	tritio		pool trimestral
	emisores gamma	semanal	pool semestral
	estroncio 90		
Vegetales y frutas de la zona	tritio	mensual	pool trimestral
	emisores gamma		pool semestral
	estroncio 90		
Suelos	emisores gamma	anual	anual
	estroncio 90		
Agua superficial (lago/rio)	tritio	mensual	mensual
		anual	anual
	emisores gamma	mensual	pool trimestral
		anual	anual
	emisores alfa-beta	mensual	pool trimestral
		anual	anual
Agua de consumo humano	tritio	mensual	mensual
		anual	anual
	emisores gamma	mensual	pool trimestral
		anual	anual
	emisores alfa-beta	mensual	pool trimestral
		anual	anual
Agua subterránea	tritio	mensual	mensual
	emisores gamma		pool trimestral
	emisores alfa-beta		
Sedimentos	emisores gamma	anual	anual
	estroncio 90		
Peces (pesca del embalse del río Tercero)	emisores gamma	mensual	pool semestral
	estroncio 90		

Emisores gamma se refiere a cesio 137 y cobalto 60.

Los valores de actividad medidos en las muestras mencionadas se pueden observar en las siguientes tablas:

Concentración de actividad en aguas superficiales					
Embalse Río Tercero (punto CNE 2)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	614	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	1029	<LD	<LD	0,32	0,36
Mínimo (Bq/l)	313	na	na	<LD	<LD
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	1	3
LD (Bq/l): cesio 0,02; cobalto 0,02; emisores $\alpha$ 0,05; emisores $\beta$ 0,2					
Embalse Río Tercero (punto CNE 9)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	568	na	na	na	0,11
Máximo (Bq/l)	900	<LD	<LD	0,05	0,17
Mínimo (Bq/l)	342	na	na	<LD	<LD
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	1	3
LD (Bq/l): cesio 0,02; cobalto 0,02; emisores $\alpha$ 0,06; emisores $\beta$ 0,08					
Embalse Río Tercero (punto CNE 3)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Muestra anual (Bq/l)	539	<LD	<LD	<LD	0,36
LD (Bq/l): cesio 0,1; cobalto 0,1; emisores $\alpha$ 0,05					
Río Santa Rosa - aguas arriba de CNE (punto CNE 1)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Muestra anual (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD	0,12
LD (Bq/l): tritio 9; cesio 0,1; cobalto 0,1; emisores $\alpha$ 0,05					
Río La Cruz - aguas arriba de CNE (punto CNE 12)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Muestra anual (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
LD (Bq/l): tritio 9; cesio 0,2; cobalto 0,1; emisores $\alpha$ 0,05; emisores $\beta$ 0,10					
Río Quillín - aguas arriba de CNE (punto CNE 35)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Muestra anual (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
LD (Bq/l): tritio 9; cesio 0,2; cobalto 0,2; emisores $\alpha$ 0,05; emisores $\beta$ 0,10					
Arroyo Las Vacas - aguas abajo de CNE (punto CNE 4)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Muestra anual (Bq/l)	667	<LD	<LD	<LD	0,30
LD (Bq/l): cesio 0,2; cobalto 0,1; emisores $\alpha$ 0,05					
Embalse Piedras Moras - aguas abajo de CNE (punto CNE 17)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Muestra anual (Bq/l)	641	<LD	<LD	<LD	0,29
LD (Bq/l): cesio 0,3; cobalto 0,2; emisores $\alpha$ 0,05					
Balneario río Tercero - aguas abajo de CNE (punto CNE 18)					
	tritio				
Muestra anual (Bq/l)	634				
Río Carcarañá - aguas abajo de CNE (punto CNE 20)					
	tritio				
Muestra anual (Bq/l)	68				

LD = mayor límite de detección determinado

Concentración de actividad en sedimentos de orilla			
Embalse Río Tercero (punto CNE 2)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	1	1	1
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,6; cobalto 0,6; estroncio 2,1			
Embalse Río Tercero (punto CNE 9)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	1	1	1
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,5; cobalto 0,1; estroncio 1,6			
Embalse Río Tercero (punto CNE 3)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/kg)	2,2	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cobalto 0,5; estroncio 1,5			
Río Santa Rosa - aguas arriba de CNE (punto CNE 1)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cesio 0,7; cobalto 0,6; estroncio 1,3			
Río La Cruz - aguas arriba de CNE (punto CNE 12)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cesio 0,5; cobalto 0,5; estroncio 1,4			
Río Quillinzo - aguas arriba de CNE (punto CNE 35)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/kg)	1,6	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cobalto 0,5; estroncio 3,3			
Arroyo Las Vacas - aguas abajo de CNE (punto CNE 4)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cesio 0,4; cobalto 0,4; estroncio 2,0			
Embalse Piedras Moras - aguas abajo de CNE (punto CNE 17)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cesio 0,6; cobalto 0,2; estroncio 1,4			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable



Concentración de actividad en aguas subterráneas					
Agua de napa (punto CNE 2)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	119	na	na	0,20	0,41
Máximo (Bq/l)	690	<LD	<LD	0,24	0,46
Mínimo (Bq/l)	<LD	na	na	0,06	0,25
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis > LD	11	0	0	3	0
LD (Bq/l): tritio 8; cesio 0,02; cobalto 0,02; emisores $\alpha$ 0,05; emisores $\beta$ 0,10					

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en aguas de consumo humano					
Ciudad de Embalse Río Tercero (punto CNE 7)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	500	na	na	na	0,17
Máximo (Bq/l)	829	<LD	<LD	0,06	0,22
Mínimo (Bq/l)	76	na	na	<LD	<LD
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	1	2
LD (Bq/l): cesio 0,02; cobalto 0,02; emisores $\alpha$ 0,05; emisores $\beta$ 0,08					
Ciudad de La Cruz (punto CNE 13)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Muestra anual (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	0,06	0,13
LD (Bq/l): tritio 9; cesio 0,1; cobalto 0,1					

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en peces del embalse río Tercero			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,1; cobalto 0,1; estroncio 0,15			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Tasa de dosis ambiental - nGy/h (promedio anual)					
Punto 23	Punto 29	Punto TA	Punto 34	Punto 2	Punto TB
63,8	63,7	82,7	71,4	98,1	75,0

Concentración de actividad en condensados de humedad		
	Vientos abajo de CNE (punto CNE 28)	Grupo representativo (punto CNE 29)
	tritio	tritio
Promedio (Bq/m <sup>3</sup> )	2,7	2,8
Máximo (Bq/m <sup>3</sup> )	6,0	13,2
Mínimo (Bq/m <sup>3</sup> )	0,6	1,1
Nº muestras analizadas	32	27
Nº análisis > LD	32	27

LD = mayor límite de detección determinado

Concentración de actividad en muestras de aerosoles totales en aire (μBq/m <sup>3</sup> )				
Vientos arriba de CNE (punto CNE 32)				
cesio 137	cobalto 60	yodo 131	estroncio 90	uranio natural <sup>(*)</sup>
<LD	<LD	<LD	<LD	1,6 (0,00006 μg/m <sup>3</sup> )
LD (μBq/m <sup>3</sup> ): cesio 1,0; cobalto 1,0; yodo 1,3; estroncio 5,1				
Grupo representativo (punto CNE 29)				
cesio 137	cobalto 60	yodo 131	estroncio 90	uranio natural <sup>(*)</sup>
<LD	<LD	<LD	<LD	6,3 (0,00025 μg/m <sup>3</sup> )
LD (μBq/m <sup>3</sup> ): cesio 1,0; cobalto 1,0; yodo 0,7; estroncio 4,4				
Vientos abajo de CNE (punto CNE 34)				
cesio 137	cobalto 60	yodo 131	estroncio 90	uranio natural <sup>(*)</sup>
<LD	<LD	<LD	<LD	3,2 (0,00013 μg/m <sup>3</sup> )
LD (μBq/m <sup>3</sup> ): cesio 1,0; cobalto 1,0; yodo 2,1; estroncio 4,2				

(\*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 25100 μBq/μg (NPL Report IR6, enero 2008).

LD = mayor límite de detección determinado

Concentración de actividad en suelos			
Vientos arriba de CNE (punto CNE 32)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	2,7	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	1	1	1
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cobalto 0,8; estroncio 1,6			
Grupo representativo (punto CNE 29)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	3,1	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	1	1	1
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cobalto 0,3; estroncio 1,4			
Vientos abajo de CNE (punto CNE 34)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	1	1	1
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,6; cobalto 0,6; estroncio 3,0			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en leche de la zona					
Pequeños tambos familiares de la zona					
	tritio	yodo 131	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/l)	20,5	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	26,7	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	<LD	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	12	2	2	2
Nº análisis > LD	3	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 7,0; yodo 0,2; cesio 0,005; cobalto 0,004; estroncio 0,05					

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en alimentos vegetales de la zona (pequeñas quintas familiares de la zona)				
Frutas				
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	129	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	177	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	78	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	2	2	2
Nº análisis > LD	4	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,02; cobalto 0,02; estroncio 0,12				
Verduras de hoja				
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	96	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	124	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	<LD	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	2	2	2
Nº análisis > LD	3	0	0	0
LD (Bq/kg): tritio 11; cesio 0,04; cobalto 0,03; estroncio 0,20				

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

## Conclusiones

Los resultados de las mediciones realizadas en las distintas muestras analizadas, indican que se detectó la presencia de tritio en muestras de condensado de humedad, en muestras de agua de lago, agua de consumo humano y alimentos. Por otro lado, se detectaron trazas de cesio 137 en muestras de suelos y sedimentos.

La presencia de tritio en el agua del lago, en el agua de consumo humano y en alimentos, se debe a la descarga de efluentes autorizados 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.

Es importante señalar que el incremento en la concentración de tritio en aguas que se observa este año, en relación al año anterior, fue debido a la pérdida de agua pesada en uno de los generadores de vapor de la central. Cabe señalar que el incremento es insignificante desde el punto de vista radiológico.

La presencia de trazas de cesio 137 en muestras de sedimentos y suelos es atribuible al "fallout" ambiental. Cabe señalar que en éste último caso, los niveles observados son semejantes para muestras analizadas tanto aguas arriba como aguas debajo de la instalación.

Con respecto a las mediciones de la concentración de tritio en las muestras de agua, la ARN ha verificado que con estos resultados se cumplen los límites y restricciones de dosis para las personas del público establecidos en la "Norma Básica de la Seguridad Radiológica y Nuclear" Norma AR 10.1.1., las que son consistentes con las recomendaciones efectuadas por la Comisión Internacional

de Protección Radiológica (ICRP, por su sigla en inglés) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Además de cumplirse con la normativa nacional, al analizar los resultados de las concentraciones de los radionucleidos medidos en agua potable se puede afirmar que no se superan los valores guía recomendados por la OMS para la ingesta de agua de potable. Los valores medidos de concentración de actividad alfa beta total en aguas se deben a la presencia de radionucleidos naturales encontrados habitualmente en el medio ambiente.

Los niveles de uranio medidos en las muestras de aire son consistentes con los resultados reportados por la bibliografía internacional para sitios no relacionados con instalaciones nucleares (UNSCEAR 2000-2008).

El promedio de los niveles de tasa de dosis ambiental medido en la zona resultó igual a 75,8 nGy/h, el cual es consistente con el valor medio de 58 nGy/h informado por UNSCEAR para sitios no influenciados por instalaciones nucleares.

Del análisis de los resultados de las mediciones de concentración de actividad en las distintas muestras analizadas, correspondientes al monitoreo radiológico ambiental en los alrededores de la CNE, se verifica que los valores se corresponden con los obtenidos a través de los modelos de cálculo aplicados por la ARN para estimar la dosis en los individuos más expuestos, siendo inferiores a los establecidos en la normativa vigente.

## Centros atómicos

### Centro Atómico Ezeiza (CAE)

---

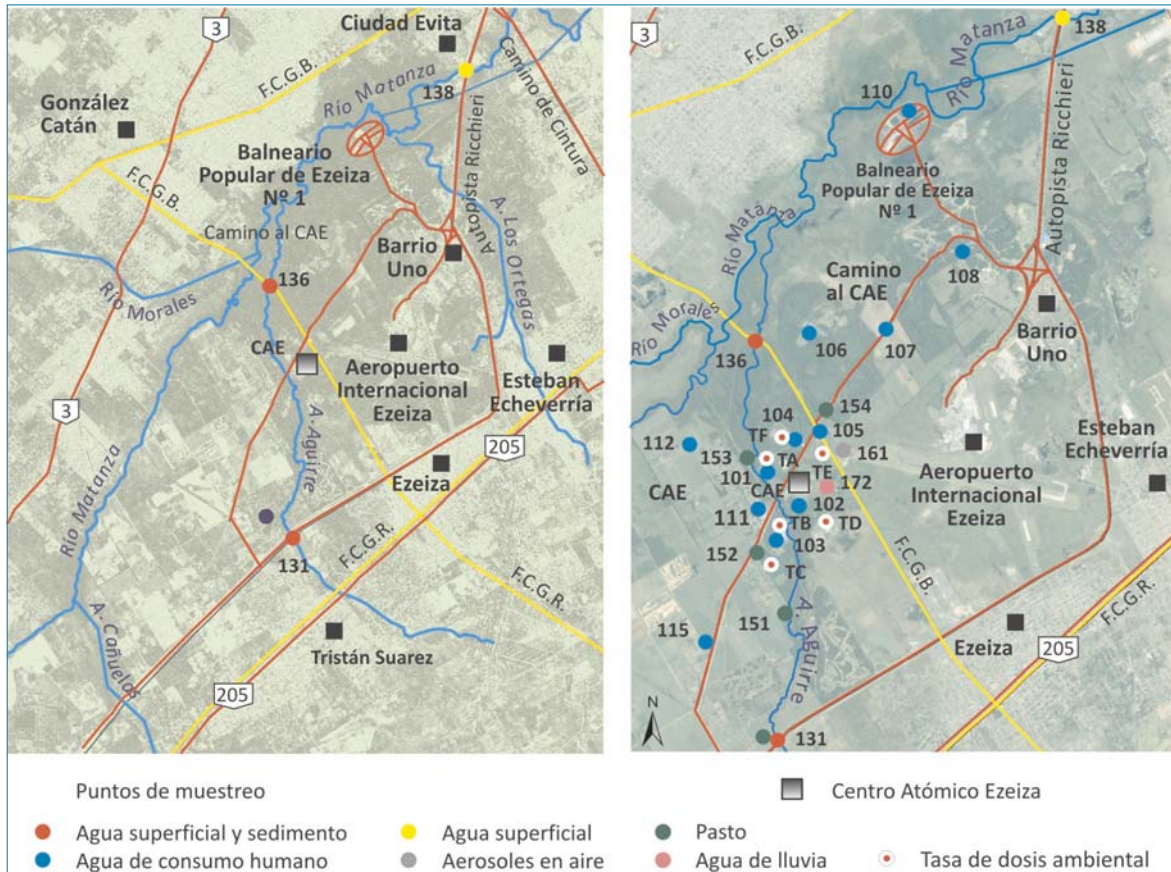
El CAE, está ubicado en la localidad de Ezeiza, Provincia de Buenos Aires. Las principales instalaciones que componen este centro son: el Reactor RA 3 para Producción de Radioisótopos e Investigación; la Planta de Producción de Radioisótopos para uso médico e industrial; la Fábrica de Fuentes Selladas de Cobalto 60; la Planta de Producción de Molibdeno 99 por Fisión; el Área Gestión Ezeiza, la Fábrica de Elementos Combustibles para Centrales Nucleares y Reactores de Investigación (CONUAR S.A./FAE), la Planta de Irradiación Semi-Industrial (PISI) y el Ciclotrón de Producción.

La Figura 13 muestra la ubicación de los puntos en los que se realiza el muestreo correspondiente al control radiológico ambiental rutinario del CAE.

Como se mencionó en el caso de las centrales nucleares, se tomaron muestras de las matrices ambientales relevantes, en puntos ubicados en los alrededores del CAE.

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas gaseosas (a la atmósfera), se tomaron y analizaron muestras de aire, depósito húmedo (lluvia) y pastos. También se analizaron alimentos producidos en las inmediaciones del CAE.

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas líquidas, se tomaron y analizaron muestras de aguas y sedimentos del arroyo Aguirre y río Matanza, así como de agua de consumo humano del CAE y sus alrededores.



**Figura 13.** Alrededores del Centro Atómico Ezeiza (Provincia de Buenos Aires)

El arroyo Aguirre atraviesa el CAE, por lo que se ubicó un punto de muestreo aguas arriba, previo a su ingreso al CAE (punto blanco) y otro punto aguas abajo, en el límite del CAE (Figura 13, puntos 131 y 136). En dichos puntos, las aguas se muestrearon mensualmente, y los sedimentos semestralmente. Paralelamente, se tomaron muestras semestrales de agua del río Matanza luego de la desembocadura del arroyo Aguirre (Figura 13, punto 138).

Las aguas de consumo, tomadas tanto de distintos tanques de agua dentro del CAE (Figura 13, puntos 101 a 105) como en predios y viviendas vecinas (Figura 13, puntos 106 a 108, 110 a 112 y 115), fueron muestreadas en forma mensual.

El equipo para muestreo de material particulado total en aire se encuentra ubicado cercano al límite NE del CAE (Figura 13, punto 161). El mismo funciona en forma continua y las muestras de filtros de aire fueron recolectadas en forma semanal.

Las muestras de depósito húmedo son muestras de agua de lluvia que se acumula en un gran recipiente previo a su recolección cada tres meses. Dicho recipiente se encuentra dentro del centro atómico (Figura 13, punto 172).

Las muestras de pasto se recolectaron de los alrededores del CAE (Figura 13, puntos 131, 151 a 154), en forma mensual.

Durante el 2012 no se encontró actividad de tambos dentro del área relevada por lo que no se obtuvieron muestras de leche. Las muestras de alimentos vegetales se recolectaron semestralmente de una quinta ubicada en dirección sudoeste al CAE.

A las muestras mensuales de aguas del arroyo Aguirre se les realizaron ensayos de uranio, tritio, cesio 137 y cobalto 60. a las muestras semestrales del río Matanza se les efectuaron ensayos de uranio. Los sedimentos se analizaron para uranio, cesio 137 y cobalto 60.

A las aguas de consumo humano se les realizaron ensayos mensuales de Uranio y trimestrales de Tritio, emisores gamma (cesio 137 y cobalto 60) y emisores alfa-beta totales. En el caso de las muestras de agua de consumo tomadas dentro del CAE, los ensayos de emisores gamma se realizaron sobre pooles trimestrales.

A los filtros de aires se les realizaron ensayos semanales de cesio 37 y cobalto 60 y ensayos en pooles semestrales de estroncio 90 y de uranio.

Las muestras trimestrales de depósito húmedo se analizaron para cesio 137, cobalto 60 y estroncio 90.

Se determinó la concentración de cesio 137, cobalto 60 y yodo 131 en los pastos.

En las muestras semestrales de vegetales y frutas se realizaron determinaciones de cesio 137, cobalto 60 y estroncio 90.

De manera similar que para las centrales nucleares, los ensayos de los emisores gamma cesio 137, cobalto 60 y yodo 131 se efectuaron por espectrometría gamma mediante detectores de germanio hiperpuro, en condiciones geométricas normalizadas específicas para las distintas matrices. las concentraciones de estroncio 90 fueron determinadas 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. Las determinaciones de uranio en aguas se realizaron por fosforescencia cinética y en filtros de aire y suelos por espectrometría alfa. Las determinaciones de tritio se realizaron por centelleo líquido, al igual que las determinaciones de emisores alfa-beta totales. En este último caso, cuando los resultados de actividad alfa o beta superan los niveles de referencia de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para aguas potables, publicados en la "Guía para la Calidad del Agua Potable (Capítulo 9 de la Revisión 4 del año 2011), se analizan los radionucleidos individuales correspondientes.

Durante el año 2012 se recolectaron 621 muestras efectuándose sobre las mismas diversas determinaciones de los distintos radionucleidos de interés.

En la siguiente tabla se presenta la frecuencia de muestreo y ensayo de los radionucleidos determinados para cada matriz analizada.



Tipo de muestra	Radionucleido a analizar <sup>(*)</sup>	Frecuencia de muestreo	Frecuencia de ensayo
Particulado en aire	emisores gamma	continua	semanal
	estroncio 90		pool trimestral
	uranio		
Vegetales y frutas cosechados en la zona	emisores gamma	semestral (verduras de hoja VH, verduras de raíz VR, otras verduras VO, frutas FR)	semestral
	estroncio 90		
Pasto	yodo 131	mensual	mensual
	emisores gamma		
Agua superficial del arroyo Aguirre	tritio	mensual	mensual
	emisores gamma		
	uranio	semestral (sólo punto 138)	semestral (sólo punto 138)
Agua de consumo humano	tritio	trimestral	trimestral
	uranio	mensual	mensual
	emisores alfa-beta	trimestral	trimestral
	emisores gamma	mensual (puntos CAE 101 a 104)	pool trimestral (puntos CAE 101 a 104)
		trimestral	trimestral
Sedimentos del arroyo Aguirre	emisores gamma	semestral	semestral
	uranio		
Depósito	emisores gamma	continuo	trimestral
	estroncio 90		

<sup>(\*)</sup> emisores gamma se refiere a cesio 137 y cobalto 60

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



Concentración de actividad en aguas de consumo humano						
Punto CAE 101						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	0,33 (13,0 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,58	0,61
Máximo (Bq/l)	0,44(17,6 $\mu\text{g/l}$ )	<LD	<LD	<LD	0,67	0,68
Mínimo (Bq/l)	0,28 (11,4 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,49	0,55
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11; cesio 0,007; cobalto 0,003						
Punto CAE 102						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	0,24 (9,6 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,30	0,46
Máximo (Bq/l)	0,33 (13,1 $\mu\text{g/l}$ )	<LD	<LD	<LD	0,32	0,59
Mínimo (Bq/l)	0,18 (7,0 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,28	0,36
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11; cesio 0,007; cobalto 0,007						
Punto CAE 103						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	0,42 (16,7 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,67	0,64
Máximo (Bq/l)	0,78 (31,0 $\mu\text{g/l}$ )	<LD	<LD	<LD	0,73	0,87
Mínimo (Bq/l)	0,16 (6,2 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,61	0,50
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11; cesio 0,07; cobalto 0,07						
Punto CAE 104						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	0,29 (11,6 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,32	0,43
Máximo (Bq/l)	0,50 (20,1 $\mu\text{g/l}$ )	<LD	<LD	<LD	0,50	0,63
Mínimo (Bq/l)	0,21 (8,5 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,21	0,33
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11; cesio 0,007; cobalto 0,003						
Punto CAE 105						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	0,20 (8,1 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,19	0,36
Máximo (Bq/l)	0,29 (11,7 $\mu\text{g/l}$ )	<LD	<LD	<LD	0,24	0,40
Mínimo (Bq/l)	0,16 (6,4 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,10	0,30
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11; cesio 0,2; cobalto 0,1						
Punto CAE 106						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	0,19 (7,6 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,20	0,29
Máximo (Bq/l)	0,27 (10,7 $\mu\text{g/l}$ )	<LD	<LD	<LD	0,26	0,39
Mínimo (Bq/l)	0,12 (4,7 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,03	0,15
Nº muestras analizadas	11	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	11	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11; cesio 0,2; cobalto 0,1						

(\*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 25100  $\mu\text{Bq}/\mu\text{g}$  (NPL Report IR6, enero 2008).

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en aguas de consumo humano						
Punto CAE 107						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	0,19 (7,6 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,18	0,36
Máximo (Bq/l)	0,31 (12,4 $\mu\text{g/l}$ )	<LD	<LD	<LD	0,20	0,30
Mínimo (Bq/l)	0,15 (5,9 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	<LD	<LD
Nº muestras analizadas	11	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	11	0	0	0	3	4
LD (Bq/l): tritio 11; cesio 0,3; cobalto 0,2; emisores $\alpha$ 0,05; emisores $\beta$ 0,1						
Punto CAE 108						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	0,18 (7,3 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,20	0,40
Máximo (Bq/l)	0,38 (15,2 $\mu\text{g/l}$ )	<LD	<LD	<LD	0,24	0,53
Mínimo (Bq/l)	0,10 (4,1 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,17	0,29
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11; cesio 0,2; cobalto 0,1						
Punto CAE 110						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	0,26 (10,2 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,27	0,48
Máximo (Bq/l)	0,34 (13,6 $\mu\text{g/l}$ )	<LD	<LD	<LD	0,33	0,59
Mínimo (Bq/l)	0,11 (4,5 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,17	0,41
Nº muestras analizadas	12	3	3	3	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11; cesio 0,2; cobalto 0,2						
Punto CAE 111						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	0,56 (22,5 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,83	0,78
Máximo (Bq/l)	1,18 (47,2 $\mu\text{g/l}$ )	<LD	<LD	<LD	0,86	0,97
Mínimo (Bq/l)	0,31 (12,2 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,76	0,56
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11; cesio 0,2; cobalto 0,2						
Punto CAE 112						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	0,23 (9,2 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,24	0,71
Máximo (Bq/l)	0,38 (15,1 $\mu\text{g/l}$ )	<LD	<LD	<LD	0,30	0,79
Mínimo (Bq/l)	0,16 (6,5 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,17	0,63
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11; cesio 0,2; cobalto 0,2						
Punto CAE 115						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	0,46 (18,4 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,64	0,64
Máximo (Bq/l)	0,85 (34,0 $\mu\text{g/l}$ )	<LD	<LD	<LD	0,70	0,80
Mínimo (Bq/l)	0,34 (13,5 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	0,52	0,51
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11; cesio 0,2; cobalto 0,1						

(\*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 25100  $\mu\text{Bq}/\mu\text{g}$  (NPL Report IR6, enero 2008).

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en aguas del arroyo Aguirre y río Matanza				
Arroyo Aguirre, aguas arriba del CAE (punto CAE 131)				
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60
Promedio (Bq/l)	0,24 (9,7 µg/l)	na	na	na
Máximo (Bq/l)	0,31 (12,3 µg/l)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	0,13 (5,0 µg/l)	na	na	na
Nº muestras analizadas	12	12	12	12
Nº análisis > LD	12	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 12; cesio 0,8; cobalto 0,5				
Arroyo Aguirre, aguas abajo del CAE (punto CAE 136)				
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60
Promedio (Bq/l)	0,26 (10,6 µg/l)	na	na	na
Máximo (Bq/l)	0,39 (15,7 µg/l)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	0,13 (5,5 µg/l)	na	na	na
Nº muestras analizadas	12	11	11	11
Nº análisis > LD	12	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 12; cesio 0,7; cobalto 0,4				
Río Matanza, aguas abajo del CAE (punto CAE 138)				
	uranio (*)			
Promedio (Bq/l)	na			
Máximo (Bq/l)	0,56 (22,2 µg/l)			
Mínimo (Bq/l)	<LD			
Nº muestras analizadas	2			
Nº análisis > LD	1			
LD (Bq/l): uranio 0,17				

(\*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 25100 µBq/µg (NPL Report IR6, enero 2008).

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en sedimentos del arroyo Aguirre			
Arroyo Aguirre, aguas arriba del CAE (punto CAE 131)			
	uranio (*)	cesio 137	cobalto 60
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): uranio 23,5; cesio 0,7; cobalto 0,5			
Arroyo Aguirre, aguas abajo del CAE (punto CAE 136)			
	uranio (*)	cesio 137	cobalto 60
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	238 (9,5 µg/g)	3,6	3,0
Mínimo (Bq/kg)	na	<LD	<LD
Nº muestras analizadas	1	2	2
Nº análisis > LD	1	1	1
LD (Bq/kg): uranio 21,0; cesio 0,9; cobalto 0,3			

(\*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 25100 µBq/µg (NPL Report IR6, enero 2008).

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en muestras de aerosoles totales en aire				
Punto CAE 161				
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	uranio (*)
Promedio ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )	na	na	na	9,3 (0,00037 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Máximo ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )	<LD	<LD	<LD	9,8 (0,00039 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Mínimo ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )	na	na	na	8,5 (0,00034 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Nº muestras analizadas	23	23	2	2
Nº análisis > LD	0	0	0	2
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 30; cobalto 30; estroncio 6,3				

(\*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 25100  $\mu\text{Bq}/\mu\text{g}$  (NPL Report IR6, enero 2008).

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Depósito de actividad en muestras de agua de lluvia			
Punto CAE 172			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ )	na	na	na
Máximo ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ )	<LD	<LD	<LD
Mínimo ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ )	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	4	4
Nº análisis > LD	0	0	0
LD ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ): cesio 0,1; cobalto 0,1; estroncio 0,04			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Depósito de actividad en muestras de pasto de la zona			
Promedio puntos CAE 131, 151, 152, 153 y 154			
	cesio 137	cobalto 60	yodo 131
Promedio ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ )	na	na	na
Máximo ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ )	<LD	<LD	<LD
Mínimo ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ )	na	na	na
Nº muestras analizadas (*)	60	60	60
Nº análisis > LD	0	0	0
LD ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ): cesio 10; cobalto 8; yodo 8			

(\*) Se analizaron 12 muestras de pasto en el año, en 5 puntos distintos en los alrededores del CAE.

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en alimentos vegetales de la zona			
Frutas			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,01; cobalto 0,01; estroncio 0,12			
Verduras de hoja			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,02; cobalto 0,02; estroncio 0,26			
Verduras de raíz			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,01; cobalto 0,01; estroncio 0,08			
Otras verduras			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	1	1	1
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,009; cobalto 0,009; estroncio 0,08			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

## Conclusiones

Se detectaron trazas de cesio 137 en algunas muestras de sedimentos del arroyo Aguirre.

En los casos puntuales en que las mediciones de actividad alfa en aguas superaron el nivel de criba de 0,5 Bq/l, se realizaron mediciones de concentración de actividad de radio 226. Los resultados de dichos análisis complementarios fueron menores que el límite de detección de la técnica empleada.

Los resultados en todas las muestras de aguas analizadas implican que las concentraciones de actividad de los radionucleidos no superan los valores guía recomendados por la OMS para concentración de actividad de esos radionucleidos en agua de consumo humano (10 Bq/l para estroncio 90, cesio 137 y uranio 238, 100 Bq/l para cobalto 60 y 10000 Bq/l para hidrógeno 3).

Si bien la ARN no es autoridad competente en materia de efectos toxicológicos del uranio, se realizó esta evaluación, teniendo en cuenta la legislación vigente. El análisis de las mediciones de concentración de uranio total efectuadas en los monitoreos rutinarios, indica que ninguno de los resultados de las mediciones informadas supera el valor guía de 100 mg/l de concentración de uranio establecido en la legislación (Decreto Reglamentario N° 831/93 de la Ley N° 24.051 y Ley N° 24.585 “Código de Minería”) y que tales resultados son marcadamente inferiores a ese nivel guía.

En todas las muestras analizadas, la ARN ha verificado que los resultados cumplen los límites y restricciones de dosis para las personas del público establecidos en la normativa de este organismo, “Norma Básica de la Seguridad Radiológica y Nuclear” Norma AR 10.1.1., las que son consistentes con las recomendaciones efectuadas por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, por su sigla en inglés) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

Del análisis de los resultados de las mediciones de concentración de actividad en las distintas muestras analizadas correspondientes al monitoreo radiológico ambiental en los alrededores del CAE, se verifica que los valores se corresponden con los obtenidos a través de los modelos de cálculo aplicados por la ARN para estimar la dosis en los individuos más expuestos, siendo inferiores a los establecidos en la normativa vigente.

### **Centro Atómico Bariloche (CAB)**

---

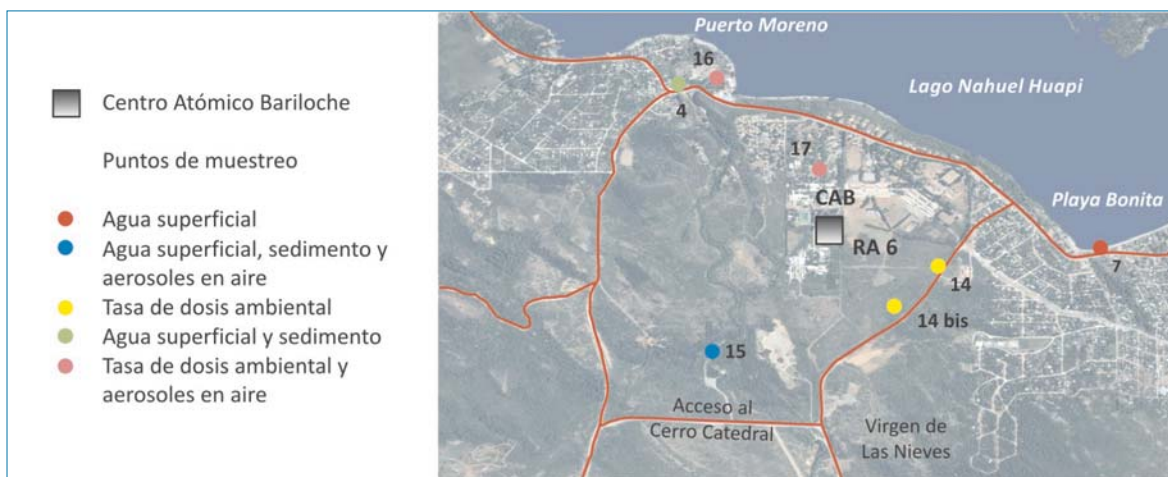
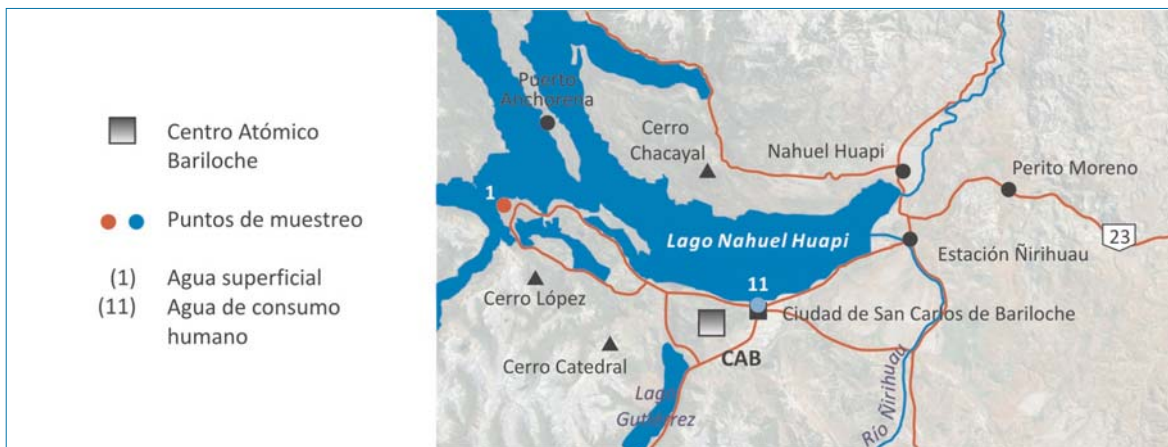
El CAB y el Instituto Balseiro son dos instituciones científicas, ubicadas en la ciudad de San Carlos de Bariloche, Provincia de Río Negro. Este Centro es una dependencia de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y sus principales actividades son la investigación, desarrollo y transferencia tecnológica en las áreas de Física e Ingeniería, en particular la energía nuclear. Se destaca la presencia del reactor de investigación RA 6.

El muestreo radiológico ambiental asociado al CAB se lleva a cabo trimestralmente sobre muestras de aguas y sedimentos de distintos puntos del arroyo Gutiérrez y del lago Nahuel Huapi, lo que implica la toma de muestras de aguas y sedimentos, aguas arriba y abajo de la instalación. También se analiza el agua de consumo humano de la ciudad de San Carlos de Bariloche. Adicionalmente y con una frecuencia anual se toman muestras de otros puntos del lago.

A fin de evaluar el impacto en el ambiente de las descargas gaseosas producidas por el CAB se realiza el muestreo de aerosoles ambientales y cálculo de la medición de la tasa de dosis ambiental de la zona aledaña al CAB.

En la Figura 14 se presentan los cursos de agua y la ubicación de los puntos de muestreo. Sobre las muestras se realizaron las determinaciones de estroncio 90 y de radionucleidos emisores gamma (cesio 137 y cobalto 60). También se realizó

la determinación de tritio en aguas a fin de contar con registros de los niveles de este radionucleido en aguas de la zona.



**Figura 14.** Alrededores del Centro Atómico Bariloche (Provincia de Río Negro)

Durante el año 2012 se recolectaron 29 muestras. Se realizaron sobre las mismas diversas determinaciones y análisis radioquímicos.

En la siguiente tabla se presenta la frecuencia de muestreo y ensayo de los radionucleidos determinados para cada matriz analizada.

Tipo de muestra	Radionucleido a analizar (*)	Frecuencia de muestreo	Frecuencia de ensayo
Tasa de dosis ambiental	emisores gamma	continua, con dosímetros (TLD)	anual
Particulado en aire	emisores gamma	continua (muestra integrada de una semana)	anual
	estroncio 90		
Suelos	emisores gamma	anual	anual
	estroncio 90		
Agua superficial del arroyo Gutiérrez y del lago Nahuel Huapi	emisores gamma	trimestral	trimestral
	emisores alfa - beta		
Agua de consumo humano	emisores gamma	trimestral	trimestral
	emisores alfa - beta		
Sedimento del arroyo Gutiérrez	emisores gamma	anual	anual
	estroncio 90		

(\*) emisores gamma se refiere a cesio 137 y cobalto 60

Los valores de actividad medidos en las muestras mencionadas se pueden observar en las siguientes tablas:

Concentración de actividad en aguas del lago Nahuel Huapi				
Lago Nahuel Huapi - aguas arriba desembocadura arroyo Gutiérrez (punto CAB 1)				
	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	4	4	4
Nº análisis > LD	0	0	0	0
LD (Bq/l): cesio 0,2; cobalto 0,1; emisores $\alpha$ 0,05; emisores $\beta$ 0,1				
Lago Nahuel Huapi - aguas abajo desembocadura arroyo Gutiérrez (punto CAB 7)				
	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	4	4	4
Nº análisis > LD	0	0	0	0
LD (Bq/l): cesio 0,2; cobalto 0,5; emisores $\alpha$ 0,05; emisores $\beta$ 0,1				



Concentración de actividad en aguas del arroyo Gutiérrez				
Arroyo Gutiérrez - aguas arriba del CAB (punto CAB 15)				
	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	4	4	4
Nº análisis > LD	0	0	0	0
LD (Bq/l): cesio 0,2; cobalto 0,2; emisores $\alpha$ 0,05; emisores $\beta$ 0,1				
Arroyo Gutiérrez - aguas abajo del CAB (punto CAB 4)				
	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	4	4	4
Nº análisis > LD	0	0	0	0
LD (Bq/l): cesio 0,2; cobalto 0,1; emisores $\alpha$ 0,05; emisores $\beta$ 0,1				

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en aguas de consumo humano ciudad de San Carlos de Bariloche				
	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$	emisores $\beta$
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	4	4	4
Nº análisis > LD	0	0	0	0
LD (Bq/l): cesio 0,2; cobalto 0,2; emisores $\alpha$ 0,05; emisores $\beta$ 0,1				

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en sedimentos del arroyo Gutiérrez			
Aguas arriba del CAB (punto CAB 15)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	0,7	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	1	1	1
Nº análisis > LD	1	0	0
LD (Bq/kg): cobalto 0,3; estroncio 2,4			
Aguas abajo del CAB (punto CAB 4)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	1	1	1
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,4; cobalto 0,3; estroncio 2,4			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Tasa de dosis ambiental - nGy/h (promedio anual)			
Punto de interés público (punto CAB 17)	Vientos arriba del CAB (punto CAB 16)	Vientos abajo del CAB (punto CAB 14bis)	Vientos abajo del CAB (punto CAB 14)
61,0	54,7	57,8	59,6

Concentración de actividad en muestras de aerosoles totales en aire ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )		
Vientos arriba del CAB (punto CAB 16)		
cesio 137	cobalto 60	estroncio
<LD	<LD	<LD
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 1,0; cobalto 5,0; estroncio 1,5		
Punto equivalente a vientos abajo del CAB (punto CAB 15)		
cesio 137	cobalto 60	estroncio
<LD	<LD	<LD
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 2,0; cobalto 2,0; estroncio 1,3		
Punto de interés público (punto CAB 17)		
cesio 137	cobalto 60	estroncio
<LD	<LD	<LD
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 1,0; cobalto 2,0; estroncio 1,6		

LD = mayor límite de detección determinado

## Conclusiones

La presencia de trazas de cesio 137 en algunas muestras de sedimentos es atribuible al "fallout" ambiental. Cabe señalar que los niveles observados son semejantes para muestras analizadas tanto aguas arriba como aguas debajo del centro atómico.

El promedio de los niveles de tasa de dosis ambiental medido en la zona resultó igual a 58,3 nGy/h, el cual es consistente con el valor medio de 58 nGy/h informado por UNSCEAR para sitios no influenciados por instalaciones nucleares.

Del análisis de los resultados de las mediciones realizadas en las distintas muestras analizadas, correspondientes al monitoreo radiológico ambiental en los alrededores del CAB, se verifica que los valores se corresponden con los obtenidos a través de los modelos de cálculo aplicados por la ARN para estimar la dosis en los individuos más expuestos, siendo inferiores a los establecidos en la normativa vigente.

## Complejo Tecnológico Pilcaniyeu

Se encuentra ubicado en el Departamento Pilcaniyeu, Provincia de Río Negro, a unos 45 km de la ciudad de San Carlos de Bariloche y a 15 km de la localidad de Pilcaniyeu, cabecera de dicho Departamento.

El muestreo radiológico ambiental se basa principalmente en la determinación de la concentración de uranio natural, en muestras de aguas superficiales y sedimentos en el curso del río Pichileufú (que atraviesa el complejo), aguas arriba y aguas abajo de la instalación. También se toma una muestra del agua de consumo humano de la localidad de Pilcaniyeu. En la Figura 15 se presentan los puntos de muestreo vinculados a este Complejo.



**Figura 15.** Alrededores del Complejo Tecnológico Pilcaniyeu (Provincia de Río Negro)

Durante 2012 se recolectaron tres muestras de aguas superficiales, una muestra de agua de consumo humano y dos muestras de sedimentos. Los resultados obtenidos pueden observarse en la siguiente tabla:

Complejo Tecnológico Pilcaniyeu	
Agua del río Pichileufú, aguas arriba de la instalación	
	uranio
Promedio (µg/l)	na
Máximo (µg/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	na
Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	0
Agua del río Pichileufú, aguas abajo de la instalación	
	uranio
Promedio (µg/l)	na
Máximo (µg/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	na
Nº muestras analizadas	2
Nº análisis > LD	0
Aguas de consumo humano de Pilcaniyeu	
	uranio
Promedio (µg/l)	na
Máximo (µg/l)	1,9
Mínimo (µg/l)	na
Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	1
Sedimentos del río Pichileufú, aguas arriba de la instalación	
	uranio
Promedio (µg/g)	na
Máximo (µg/g)	<LD
Mínimo (µg/g)	na
Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	0
Sedimentos del río Puchileufú, aguas abajo de la instalación	
	uranio
Promedio (µg/g)	na
Máximo (µg/g)	<LD
Mínimo (µg/g)	na
Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	0

LD = mayor límite de detección determinado = 0,5 (µg/l) en aguas

LD = mayor límite de detección determinado = 0,83 (µg/g) en sedimentos

na = no aplicable

## Complejos minero fabriles

Para evaluar el impacto radiológico ambiental, la ARN lleva a cabo monitoreos ambientales en los alrededores de los complejos y ex complejos minero fabriles del país, asociados a la explotación y al procesamiento del mineral de uranio.

A tal fin, en los alrededores de dichas instalaciones, se realizan muestreos de aguas superficiales y sedimentos de las zonas de influencia.

Paralelamente, se realizan muestreos de aguas de napa freática si las características de la zona del emplazamiento lo justifican y de aguas de consumo humano en zonas aledañas.

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 y de la actividad de radio 226 en muestras de agua y sedimentos, y la tasa de emanación del gas radón en las escombreras de mineral de uranio, ya que estos son los radionucleidos radiológicamente más significativos.

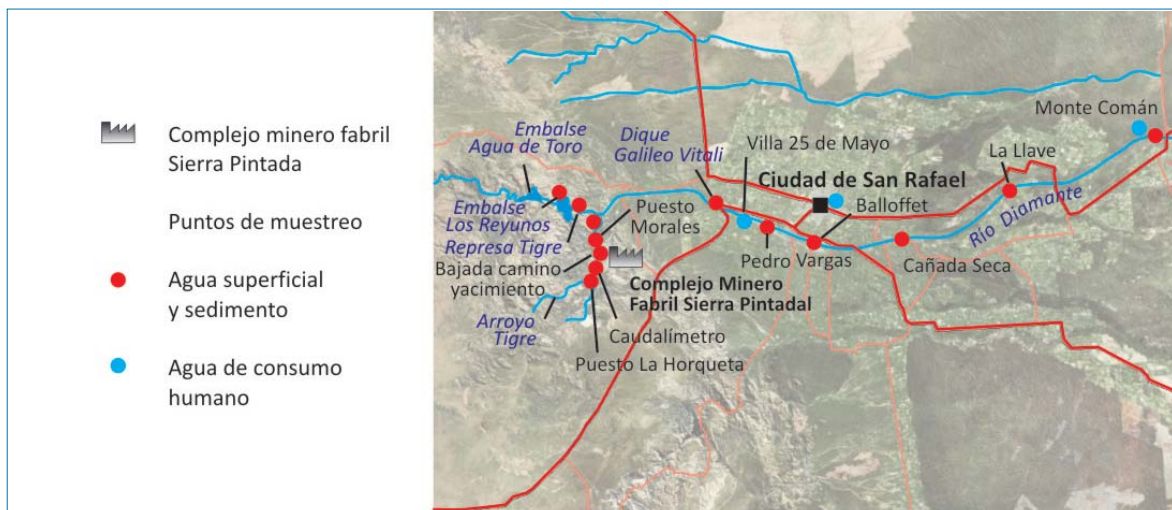
Asimismo, se lleva a cabo un programa de monitoreo de la concentración de gas radón en aire en las viviendas próximas a las instalaciones.

### Complejo minero fabril San Rafael (o Sierra Pintada)

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”. El mismo comenzó su operación en el año 1979 y actualmente el proceso de producción se encuentra interrumpido.

El muestreo radiológico ambiental asociado a la operación de la instalación se lleva a cabo sobre el arroyo Tigre (que atraviesa el complejo) y el río Diamante, efectuándose la toma de muestras de aguas superficiales y sedimentos. Además, también se analiza el agua de consumo humano de la Villa 25 de Mayo, de la ciudad de San Rafael y de la localidad de Monte Comán.

En la Figura 16 se presentan los cursos de agua y la ubicación de los puntos de muestreo.



**Figura 16.** Alrededores del Complejo minero fabril San Rafael (Provincia de Mendoza)

Durante 2012 se recolectaron trece muestras de aguas superficiales, tres muestras de agua de consumo humano y nueve muestras de sedimentos.

A continuación se detallan los valores obtenidos:

Complejo minero fabril San Rafael			
Aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	2,8	Promedio (mBq/l)	2,8
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	3,4	Máximo (mBq/l)	3,9
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	2,0	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	5	Nº muestras analizadas	5
Nº análisis > LD	5	Nº análisis > LD	2
LD (mBq/l): 2,5			
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	4,7	Promedio (mBq/l)	4,2
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	12,5	Máximo (mBq/l)	6,5
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	1,4	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	8	Nº muestras analizadas	8
Nº análisis > LD	8	Nº análisis > LD	6
LD (mBq/l): 2,5			
Aguas de consumo humano en zonas de influencia			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	1,9	Promedio (mBq/l)	3,0
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	2,3	Máximo (mBq/l)	4,1
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	1,4	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	3	Nº muestras analizadas	3
Nº análisis > LD	3	Nº análisis > LD	1
LD (mBq/l): 2,5			
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	na	Promedio (mBq/g)	25,1
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	<LD	Máximo (mBq/g)	34,9
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	na	Mínimo (mBq/g)	<LD
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	5
Nº análisis > LD	0	Nº análisis > LD	4
LD ( $\mu\text{g/g}$ ): 0,68		LD (mBq/g): 14,2	
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	na	Promedio (mBq/g)	34,1
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	1,65	Máximo (mBq/g)	55,9
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	na	Mínimo (mBq/g)	24,3
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	4
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	4

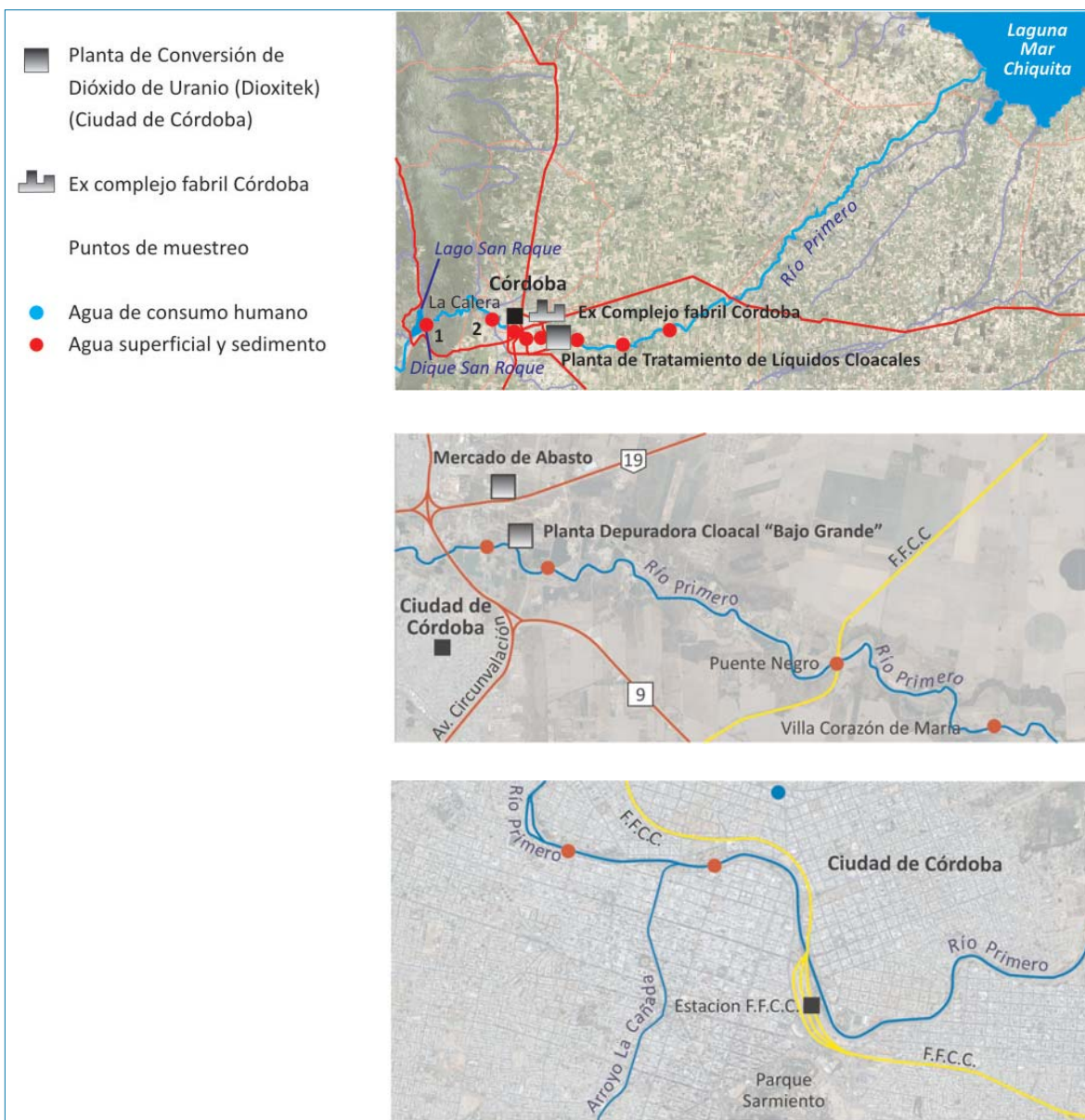
LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de gas radón en viviendas aledañas al Complejo minero fabril San Rafael	
	radón 222
Promedio ( $\text{Bq/m}^3$ )	62
Máximo ( $\text{Bq/m}^3$ )	85
Mínimo ( $\text{Bq/m}^3$ )	29
Nº muestras analizadas	7
Nº análisis > LD	7
Medición integrada de aprox. 5 meses	

### Planta de Conversión de Dióxido de Uranio (Dioxitek) (Ex 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 radiológico ambiental debido a la operación de esta instalación se basa en la toma de muestras de aguas superficiales y sedimentos sobre el río Suquía (río Primero), aguas arriba y aguas abajo de la instalación, como puede observarse en la Figura 17. Se toma además una muestra del agua de consumo humano de la ciudad de Córdoba.



**Figura 17.** Alrededores de la Planta de Conversión de Dióxido de Uranio (Provincia de Córdoba)

Durante el año 2012 se tomaron ocho muestras de aguas superficiales, una muestra de agua de consumo humano y cuatro muestras de sedimentos.

Se detallan a continuación los valores obtenidos:

Planta de Conversión de Dióxido de Uranio Dioxitek / Ex Complejo fabril Córdoba			
Aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	8,3	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	15,4	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	2,4	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	5	Nº muestras analizadas	5
Nº análisis > LD	5	Nº análisis > LD	0
		LD (mBq/l): 4,0	
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	10,6	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	11,3	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	9,3	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	3	Nº muestras analizadas	3
Nº análisis > LD	3	Nº análisis > LD	0
		LD (mBq/l): 4,0	
Aguas de consumo humano de la ciudad de Córdoba			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	1,5	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	na	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	0
		LD (mBq/l): 3,8	
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	34,3
Máximo (µg/g)	<LD	Máximo (mBq/g)	36,8
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	31,7
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	2
Nº análisis > LD	0	Nº análisis > LD	2
		LD (µg/g): 0,89	
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	29,4
Máximo (µg/g)	2,50	Máximo (mBq/g)	37,0
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	21,7
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	2
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	2

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de gas radón en viviendas aledañas al ex Complejo fabril Córdoba	
	radón 222
Promedio (Bq/m <sup>3</sup> )	25
Máximo (Bq/m <sup>3</sup> )	44
Mínimo (Bq/m <sup>3</sup> )	17
Nº muestras analizadas	4
Nº análisis > LD	4
Medición integrada de aprox. 4 meses	



## Ex Complejo minero fabril Malargüe

El ex-Complejo fabril “Malargüe” se encuentra ubicado al sur de la Provincia de Mendoza, aproximadamente a 1 km del centro de la ciudad de Malargüe. Comenzó su operación en el año 1954 finalizando la misma en el año 1986. En principio procesó 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 radiológico ambiental se lleva a cabo en aguas de napa freática, dado que es característico de la zona que la misma se encuentre muy elevada, aflorando en varios puntos en los alrededores de la instalación.

Paralelamente se toman muestras de aguas superficiales y sedimentos en puntos ubicados en la zona de influencia de la instalación, y del agua de consumo humano de la ciudad de Malargüe (ver Figura 18).

En el año 2012 se recolectaron doce muestras de aguas superficiales, siete muestras de aguas subterráneas, una muestra de agua de consumo humano y diez muestras de sedimentos.

Se detallan a continuación los valores obtenidos:

Ex Complejo fabril Malargüe			
Aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	2,5	Promedio (mBq/l)	26,4
Máximo (µg/l)	3,5	Máximo (mBq/l)	50,1
Mínimo (µg/l)	1,5	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	4	Nº muestras analizadas	4
Nº análisis > LD	4	Nº análisis > LD	1
		LD (mBq/l): 2,7	
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	5,0	Promedio (mBq/l)	3,5
Máximo (µg/l)	12,7	Máximo (mBq/l)	4,6
Mínimo (µg/l)	1,7	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	6	Nº muestras analizadas	6
Nº análisis > LD	6	Nº análisis > LD	2
		LD (mBq/l): 2,7	
Aguas de consumo humano de la ciudad de Malargüe			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	1,9	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	na	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	0
		LD (mBq/l): 2,4	

Ex Complejo fabril Malargüe			
Aguas subterráneas de la zona de influencia			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	10,4	Promedio (mBq/l)	16,2
Máximo (µg/l)	53,6	Máximo (mBq/l)	60,9
Mínimo (µg/l)	1,1	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	8	Nº muestras analizadas	8
Nº análisis > LD	8	Nº análisis > LD	3
LD (mBq/l): 2,7			
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	35,2
Máximo (µg/g)	2,4	Máximo (mBq/g)	49,5
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	22,5
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	4
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	4
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	30,1
Máximo (µg/g)	2,0	Máximo (mBq/g)	36,8
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	26,7
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	5
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	5

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de gas radón en viviendas aledañas al ex Complejo fabril Malargüe	
	radón 222
Promedio (Bq/m <sup>3</sup> )	41
Máximo (Bq/m <sup>3</sup> )	55
Mínimo (Bq/m <sup>3</sup> )	27
Nº muestras analizadas	6
Nº análisis > LD	6
Medición integrada de aprox. 5 meses	



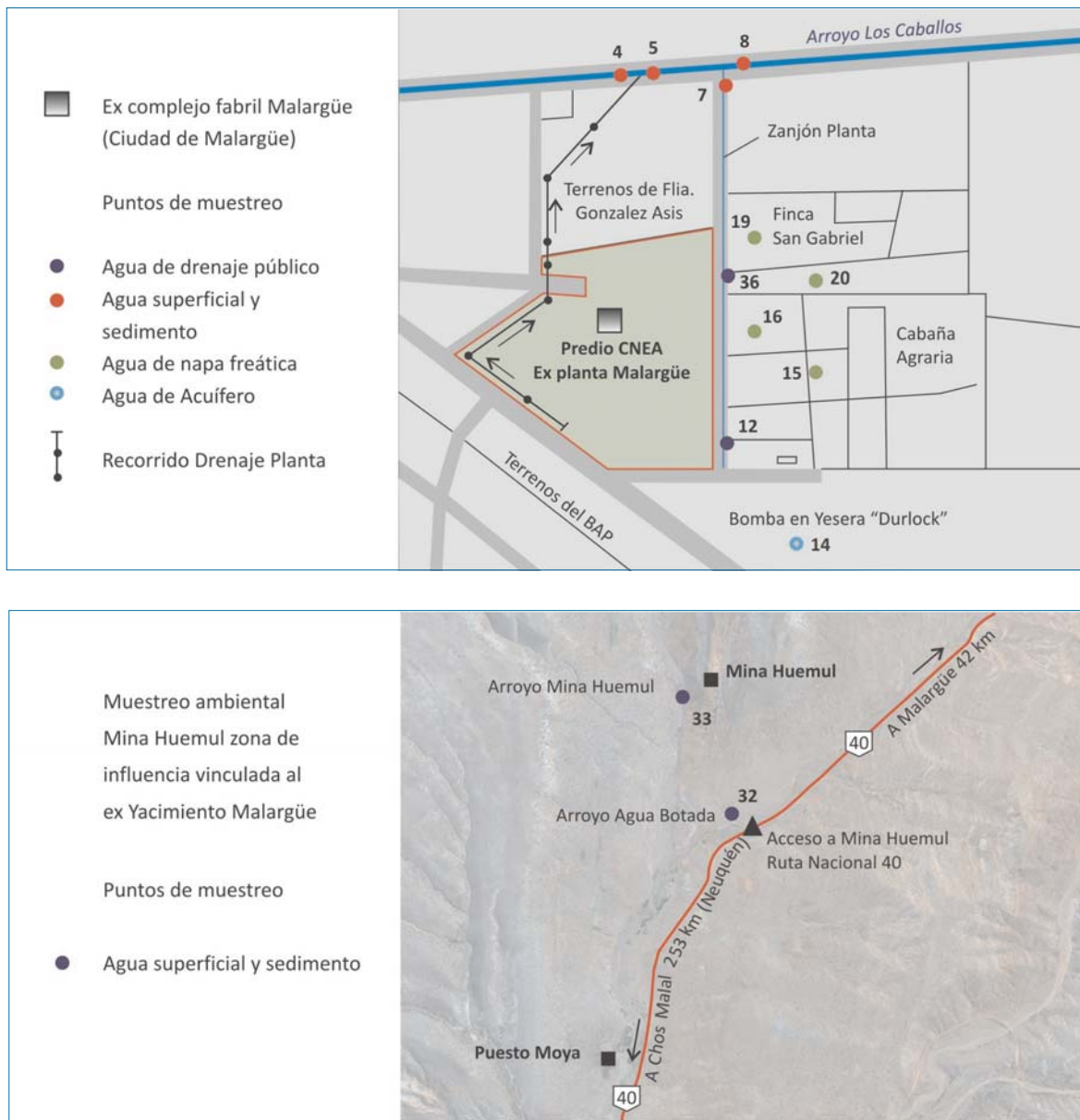


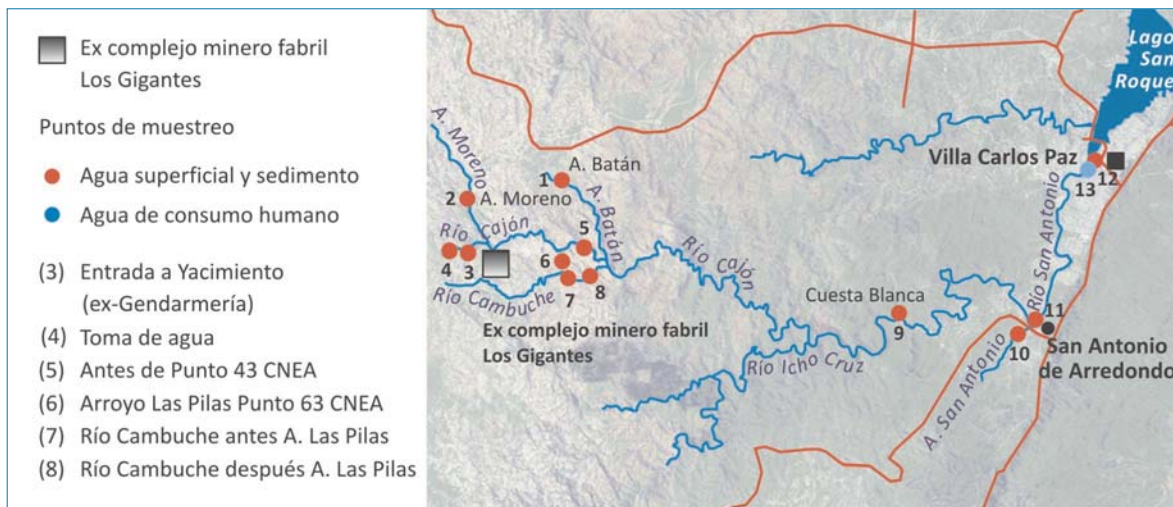
Figura 19. Alrededores del ex Complejo minero fabril Malargüe (Provincia de Córdoba)

### 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.

El muestreo radiológico 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, como los arroyos Batán y Moreno, y los ríos Icho Cruz y San Antonio.

En la Figura 19, se muestran esquemáticamente los alrededores del ex Complejo minero fabril Los Gigantes, indicándose los puntos de muestreo.



**Figura 19.** Alrededores del ex Complejo minero fabril Los Gigantes (Provincia de Córdoba)

En 2012 se recolectaron doce muestras de aguas superficiales, una muestra de agua de consumo humano en la localidad de Villa Carlos Paz y nueve muestras de sedimentos. A continuación se presentan los valores obtenidos en las distintas muestras.

Ex Complejo minero fabril Los Gigantes			
Aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	1,6	Promedio (mBq/l)	5,7
Máximo (µg/l)	3,6	Máximo (mBq/l)	15,8
Mínimo (µg/l)	0,7	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	6	Nº muestras analizadas	6
Nº análisis > LD	6	Nº análisis > LD	1
LD (mBq/l): 4,0			
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	1,8	Promedio (mBq/l)	6,9
Máximo (µg/l)	2,2	Máximo (mBq/l)	15,7
Mínimo (µg/l)	1,5	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	4	Nº muestras analizadas	4
Nº análisis > LD	4	Nº análisis > LD	1
LD (mBq/l): 4,0			
Aguas de consumo humano de Villa Carlos Paz			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	1,4	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	na	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	0	Nº análisis > LD	0
LD (mBq/l): 4,0			

Ex Complejo minero fabril Los Gigantes			
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	na	Promedio (mBq/g)	84,2
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	8,2	Máximo (mBq/g)	136,5
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	na	Mínimo (mBq/g)	49,6
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	3
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	3
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	na	Promedio (mBq/g)	138,6
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	2,0	Máximo (mBq/g)	277,7
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	na	Mínimo (mBq/g)	40,7
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	6
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	6

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de gas radón en viviendas aledañas al ex Complejo fabril Los Gigantes	
	radón 222
Promedio ( $\text{Bq/m}^3$ )	67
Máximo ( $\text{Bq/m}^3$ )	79
Mínimo ( $\text{Bq/m}^3$ )	60
Nº muestras analizadas	3
Nº análisis > LD	3
Medición integrada de aprox. 5 meses	

### Ex Complejo minero fabril La Estela

El ex Complejo minero fabril La Estela que está ubicado en el Departamento Chacabuco, Provincia de San Luis, operó desde el año 1982 hasta el año 1991. Está emplazado sobre la margen este de la ruta provincial Nº 1, 4 km hacia el norte de la localidad de Villa Larca y 30 km al sur de la ciudad de Merlo.

Por razones topográficas y requerimientos de áreas aptas, la planta de tratamiento de mineral estaba ubicada a 3 km en línea recta del sector de mina. El yacimiento La Estela está ubicado, como se indica en la Figura 20, 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 al este y al oeste el Valle de Conlara está enmarcado por las sierras de Comechingones y San Luis y prácticamente está cerrado en el sur por las sierras de la Estanzuela, Tilisrao, Naschel, del Carrizal y San Felipe.

El muestreo radiológico ambiental se lleva a cabo sobre el río Seco, tomándose muestras de aguas superficiales y sedimentos. También se toman muestras de agua de napa, por la eventual influencia sobre la misma del río Seco y muestras

de aguas superficiales y sedimentos sobre los arroyos Benítez y Gatica y el río Conlara (por la eventual influencia sobre éste de las aguas subterráneas). Adicionalmente se toman muestras del agua de consumo humano de Villa Larca, Concarán, Santa Rosa de Conlara y Merlo.



**Figura 20.** Alrededores del ex Complejo minero fabril La Estela (Provincia de San Luis)

En el año 2012 se tomaron siete muestras de aguas superficiales, una muestra de agua subterránea, cuatro muestras de agua de consumo humano y seis muestras de sedimentos.

Se detallan a continuación los valores obtenidos:

Ex Complejo minero fabril La Estela			
Aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	6,1	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	8,4	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	4,1	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	3	Nº muestras analizadas	3
Nº análisis > LD	3	Nº análisis > LD	0
LD (mBq/l): 4,0			
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	16,5	Promedio (mBq/l)	7,4
Máximo (µg/l)	31,0	Máximo (mBq/l)	9,9
Mínimo (µg/l)	8,6	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	4	Nº muestras analizadas	4
Nº análisis > LD	4	Nº análisis > LD	3
LD (mBq/l): 4,0			
Aguas de consumo humano del Valle de Conlara			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	6,4	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	10,7	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	0,6	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	4	Nº muestras analizadas	4
Nº análisis > LD	4	Nº análisis > LD	0
LD (mBq/l): 4,0			

Ex Complejo minero fabril La Estela			
Aguas subterráneas del Valle de Conlara			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	16,5	Máximo (mBq/l)	13,5
Mínimo (µg/l)	na	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	1
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	62,3
Máximo (µg/g)	3,1	Máximo (mBq/g)	82,9
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	41,7
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	2
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	2
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	447,4
Máximo (µg/g)	30,1	Máximo (mBq/g)	883,8
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	18,2
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	4
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	4

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

### 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, como se indica en la Figura 21, en el Departamento San Carlos, en la Provincia de Salta, a unos 150 km al sudoeste de la ciudad capital. Operó fundamentalmente con mineral proveniente del yacimiento Don Otto y en menor escala con mineral de los yacimientos Los Berthos, Pedro Nicolás y Martín Miguel de Güemes.



**Figura 21.** Alrededores del ex Complejo minero fabril Tonco - Don Otto (Provincia de Salta)

El monitoreo radiológico ambiental consiste fundamentalmente en la recolección de muestras de aguas superficiales y sedimentos de los ríos Calchaquí, Las Conchas, y Tonco (que atraviesa el yacimiento). 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. También se toman muestras de agua de consumo humano en la ciudad de Salta y las localidades de Cafayate y Cachi.

Durante el año 2012 se tomaron diecinueve muestras de aguas superficiales, tres muestras de aguas de consumo humano y veintiún muestras de sedimentos.

Se detallan a continuación los valores obtenidos:

Ex Complejo minero fabril Tonco - Don Otto			
Aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	10,8	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	30,0	Máximo (mBq/l)	3,7
Mínimo (µg/l)	5,7	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	9	Nº muestras analizadas	9
Nº análisis > LD	9	Nº análisis > LD	1
LD (mBq/l): 3,4			
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	7,0	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	10,6	Máximo (mBq/l)	4,7
Mínimo (µg/l)	3,0	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	6	Nº muestras analizadas	6
Nº análisis > LD	6	Nº análisis > LD	1
LD (mBq/l): 3,4			
Aguas de consumo humano en zona de influencia Salta-Cafayate-Cachi			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	2,8	Promedio (mBq/l)	4,7
Máximo (µg/l)	5,7	Máximo (mBq/l)	7,4
Mínimo (µg/l)	1,2	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	3	Nº muestras analizadas	3
Nº análisis > LD	3	Nº análisis > LD	2
LD (mBq/l): 3,4			
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	na
Máximo (µg/g)	2,85	Máximo (mBq/g)	<LD
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	na
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	10
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	0
LD (mBq/g): 28			
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	<LD
Máximo (µg/g)	1,40	Máximo (mBq/g)	35
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	<LD
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	7
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	1
LD (mBq/g): 29			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable



### Ex Complejo minero fabril Pichiñán - Los Adobes

El ex Complejo minero fabril Pichiñán se encuentra ubicado en la Provincia de Chubut, 40 km al norte 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 de la instalación. En principio se procesó mineral proveniente del yacimiento “Los Adobes”, ubicado 40 km al norte del complejo, y posteriormente del yacimiento “Cerro Cóndor” ubicado 35 km al noroeste de la instalación.

El monitoreo radiológico ambiental consiste, fundamentalmente, en la recolección de muestras de aguas superficiales y sedimentos en el curso del río Chubut. También se toman muestras de agua de consumo humano en las localidades de Los Altares, Gaiman, Trelew y Rawson, ubicadas aguas abajo del complejo, siguiendo el curso del río, y finalmente una muestra de agua de mar en la desembocadura de este río en el Océano Atlántico (Bahía Engaño), ver Figura 22.



**Figura 22.** Alrededores del ex Complejo minero fabril Pichiñán (Provincia de Chubut)

Durante el año 2012 se tomaron veintitrés muestras de aguas superficiales, cuatro muestras de aguas de consumo humano y dieciseis muestras de sedimentos. Se detallan a continuación los valores obtenidos:

Ex Complejo minero fabril Pichiñán - Los Adobes			
Aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	0,7	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	<LD	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	11	Nº muestras analizadas	11
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	0
LD (µg/l): 0,5		LD (mBq/l): 3,4	
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	1,00	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	1,70	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	0,52	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	11	Nº muestras analizadas	11
Nº análisis > LD	11	Nº análisis > LD	0
		LD (mBq/l): 3,4	
Aguas de consumo humano en zonas de influencia			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	1,3	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	2,9	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	0,6	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	4	Nº muestras analizadas	4
Nº análisis > LD	4	Nº análisis > LD	0
		LD (mBq/l): 3,4	
Aguas de mar Bahía Engaño - Playa Unión - Rawson - Chubut			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	2,0	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	na	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	0
		LD (mBq/l): 3,4	
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	18,0
Máximo (µg/g)	<LD	Máximo (mBq/g)	25,7
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	<LD
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	9
Nº análisis > LD	0	Nº análisis > LD	8
LD (µg/g): 0,84		LD (mBq/g): 12,8	
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	21,0
Máximo (µg/g)	<LD	Máximo (mBq/g)	27,2
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	13,2
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	7
Nº análisis > LD	0	Nº análisis > LD	7
LD (µg/g): 0,84			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

## Ex Complejo minero fabril Los Colorados

El ex Complejo minero fabril Los Colorados, cuya actividad se desarrolló entre 1993 y 1996 está ubicado, como se indica en la Figura 23, en el Departamento Independencia, Provincia de La Rioja, unos 20 km al noroeste de la localidad de Patquía.



**Figura 23.** Alrededores del ex Complejo minero fabril Los Colorados (Provincia de La Rioja)

La planta de trituración de mineral, lixiviación y concentración de uranio estaba ubicada cerca del yacimiento, en un predio de 90 hectáreas, que corresponde a la concesión de la mina Los Colorados otorgada por la Dirección de Minería de la Provincia de La Rioja.

El monitoreo radiológico ambiental consiste, fundamentalmente, en la recolección de muestras de aguas de napa freática, aguas superficiales y sedimentos de los arroyos Los Mogotes y Saladillo, y del agua de consumo humano de la localidad de Patquía. 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.

En el curso del año 2012 se tomaron tres muestras de aguas superficiales, cinco muestras de aguas subterráneas (una muestra de agua termal), una muestra de agua de consumo humano y tres muestras de sedimentos.

Se detallan a continuación los valores obtenidos:

Ex Complejo minero fabril Los Colorados			
Aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	4,25	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	4,30	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	4,20	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	2	Nº muestras analizadas	2
Nº análisis > LD	2	Nº análisis > LD	0
LD (mBq/l): 4,1			
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	0,9	Máximo (mBq/l)	28,3
Mínimo (µg/l)	na	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	1
Aguas de consumo humano de Patquía			
uranio (µg/l)		radio 226 (mBq/l)	
11,0		<LD	
LD (mBq/l): 4,1			
Agua termal de la zona de influencia			
uranio (µg/l)		radio 226 (mBq/l)	
<LD		18,5	
LD (µg/l): 0,5			
Aguas subterráneas			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	8,5	Promedio (mBq/l)	75,8
Máximo (µg/l)	23,0	Máximo (mBq/l)	283,6
Mínimo (µg/l)	1,9	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	4	Nº muestras analizadas	4
Nº análisis > LD	4	Nº análisis > LD	2
LD (mBq/l): 4,1			
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	na
Máximo (µg/g)	4,4	Máximo (mBq/g)	<LD
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	na
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	2
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	0
LD (mBq/g): 24,5			
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	na
Máximo (µg/g)	1,6	Máximo (mBq/g)	<LD
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	na
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	0
LD (mBq/g): 27,7			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

## Conclusiones

---

La OMS ha establecido valores guía de concentración de actividad de radionucleidos para agua potable en el Capítulo 9 de la Revisión 4 (2011) de su "Guía para la Calidad del Agua Potable". En el caso de los distintos isótopos del uranio los valores guía recomendados para agua potable son 10 Bq/l, 1 Bq/l y 1 Bq/l para los isótopos uranio 238, uranio 234 y uranio 235 respectivamente. Si se comparan los valores medidos de concentración de actividad en aguas ambientales de la zona de influencia de los complejos minero fabriles, con los valores guía recomendados para agua potable por la OMS, se puede concluir que no se superan en ningún caso los valores guía recomendados por dicho organismo internacional para aguas potables.

Por otro lado, a fin de realizar la evaluación de los aspectos toxicológicos asociados a la concentración de uranio en aguas, corresponde tener en cuenta que la legislación nacional establece un nivel guía de 100 µg/l, tal como lo consigna la "Tabla 1 Niveles Guía de Calidad de Agua para Fuentes de Agua de Bebida Humana con Tratamiento Convencional" del Anexo II del Decreto Reglamentario Nº 831/93 de la Ley Nº 24.051 "Residuos Peligrosos" y la "Tabla 1 Fuentes de Agua para Bebida Humana" del Anexo IV "Niveles Guía de Calidad de Agua, Suelo y Aire" de la Normativa Complementaria y Presupuestos Mínimos aprobada por el Consejo Federal de Minería el 16 de agosto de 1996, que complementa a la Ley Nº 24.585 "Código de Minería".

El análisis de las determinaciones de la concentración de uranio efectuadas en aguas ambientales de las distintas zonas correspondientes a los complejos citados, indica que ninguno de los resultados informados supera el valor guía de 100 µg/l de concentración de uranio establecido en la legislación vigente y que tales resultados son marcadamente inferiores a ese nivel guía.

En el caso de las determinaciones de radio 226 en aguas, todos los valores medidos resultan ser marcadamente inferiores al valor guía de concentración de actividad recomendado para agua potable por la OMS (1 Bq/l).

Respecto a las determinaciones realizadas en muestras de sedimentos, a modo de referencia se comparan los valores medidos con los valores reportados en las publicaciones de los años 2000/2008 por el UNSCEAR para radionucleidos naturales medidos en muestras ambientales de suelos de diferentes países.

A continuación se presentan los máximos medidos de ambos radionucleidos naturales (uranio 238 y radio 226) en las muestras analizadas en las zonas de influencia de las distintas instalaciones asociadas a la minería de uranio, junto a los correspondientes valores mínimos y máximos reportados por UNSCEAR.

	uranio 238 (Bq/kg) valor máximo	radio 226 (Bq/kg) valor máximo
Valor máximo UNSCEAR	1000	1000
Valor máximo medido	752,5	883,8

Tanto para el uranio como para el radio 226, todas las muestras analizadas resultaron ser compatibles con los valores de concentración de estos radionucleidos encontrados habitualmente en la naturaleza.

Respecto a las mediciones de radón realizadas, es importante señalar que todas las mediciones son marcadamente inferiores al nivel de acción establecido por la Norma Básica de Seguridad Radiológica de la ARN (400 Bq/m<sup>3</sup>).

## Monitoreo ambiental no relacionado con las instalaciones nucleares

### Fuentes artificiales

---

Se determinaron las concentraciones de radionucleidos de interés en muestras de aire, agua de lluvia, leche y alimentos varios. Las muestras de frutas y verduras de diferentes especies fueron adquiridas en el Mercado Central de Buenos Aires. Asimismo se determinó el nivel promedio de tasa de dosis ambiental.

Con respecto al muestreo de aerosoles, el equipo muestreador se encuentra ubicado en la sede central de la ARN sita en la Avenida Libertador 8250, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

En el plan de monitoreo efectuado durante el año 2012 se recolectaron 119 muestras y se efectuaron sobre las mismas diversos tipos de análisis y determinaciones radioquímicas de los distintos radionucleidos de interés.

Los niveles de uranio natural medidos por espectrometría alfa en las muestras de aire son consistentes con los resultados reportados por la bibliografía internacional para sitios no relacionados con instalaciones nucleares (UNSCEAR 2000-2008).

El promedio de los niveles de tasa de dosis ambiental medido en la zona resultó igual a 42 nGy/h, el cual es consistente con el valor medio de 58 nGy/h informado por UNSCEAR para sitios no influenciados por instalaciones nucleares.

En la siguiente tabla se presenta la frecuencia de muestreo y ensayo de los radionucleidos determinados para cada matriz analizada.

Tipo de muestra	Radionucleido a analizar <sup>(*)</sup>	Frecuencia de muestreo	Frecuencia de ensayo
Tasa de dosis ambiental	emisores gamma	continua, con dosímetros (TLD)	anual
Condensado de humedad	tritio	continua	semanal
Particulado en aire	emisores gamma	continua	pool trimestral
	estroncio 90		
	uranio		
Agua del Río de La Plata	tritio	semestral	semestral
	emisores gamma		
	emisores alfa-beta		
Leche	emisores gamma	semestral	semestral
	yodo 131		
	estroncio 90		
	tritio		
Vegetales y frutas	emisores gamma	semestral (verduras de hoja y frutas para tritio, más verduras de raíz y otras verduras para el resto de los ensayos)	semestral
	estroncio 90		
	tritio		
Depósito húmedo	emisores gamma	continua	trimestral
	estroncio 90		

(\*) Emisores gamma se refiere a cesio 137 y cobalto 60.

Los valores de actividad medidos en las muestras mencionadas se pueden observar en las siguientes tablas:

Tasa de dosis ambiental - nGy/hora (promedio anual) en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires
41,9

Concentración de actividad en muestras de condensados de humedad de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires	
	tritio
Promedio (Bq/m <sup>3</sup> )	0,5
Máximo (Bq/m <sup>3</sup> )	0,6
Mínimo (Bq/m <sup>3</sup> )	<LD
Nº muestras analizadas	44
Nº análisis > LD	2
LD (Bq/m <sup>3</sup> ): tritio 0,2	

Concentración de actividad en muestras de aerosoles totales en aire de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires				
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	uranio <sup>(*)</sup>
Promedio (µBq/m <sup>3</sup> )	na	na	na	9,1 (0,00036 µg/m <sup>3</sup> )
Máximo (µBq/m <sup>3</sup> )	<LD	<LD	<LD	12,1 (0,00048 µg/m <sup>3</sup> )
Mínimo (µBq/m <sup>3</sup> )	na	na	na	4,7 (0,00019 µg/m <sup>3</sup> )
Nº muestras analizadas	4	4	4	3
Nº análisis > LD	0	0	0	3
LD (µBq/m <sup>3</sup> ): cesio 0,7; cobalto 0,5; estroncio 5,8				

(\*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 25100 µBq/µg (NPL Report IR6, enero 2008).

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable



Concentración de actividad en alimentos vegetales del Mercado Central				
Frutas				
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2	2
Nº análisis > LD	0	0	0	0
LD (Bq/kg): tritio 11; cesio 0,007; cobalto 0,009; estroncio 0,06				
Verduras de hoja				
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2	2
Nº análisis > LD	0	0	0	0
LD (Bq/kg): tritio 11; cesio 0,02; cobalto 0,03; estroncio 0,07				
Verduras de raíz				
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	
Promedio (Bq/kg)	na	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2	2
Nº análisis > LD	0	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,01; cobalto 0,009; estroncio 0,05				
Otras verduras				
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	
Promedio (Bq/kg)	na	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2	2
Nº análisis > LD	0	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,009; cobalto 0,01; estroncio 0,05				

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en muestras de agua de lluvia de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/m <sup>2</sup> )	na	na	na
Máximo (Bq/m <sup>2</sup> )	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/m <sup>2</sup> )	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	4	4
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/m <sup>2</sup> ): cesio 0,1; cobalto 0,1; estroncio 0,07			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable



Concentración de actividad en leche del Mercado Central				
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2	2
Nº análisis > LD	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 7; cesio 0,01; cobalto 0,01; estroncio 0,09				

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

### Actividades científico técnicas de apoyo a la regulación

La ARN desarrolla a través de la Gerencia de Apoyo Científico Técnico (GACT) tareas científico-tecnológicas de apoyo a su función regulatoria. Para ello cuenta con laboratorios y equipamiento apropiados, así como con personal especializado que lleva a cabo la implementación de metodologías tanto en mediciones como en evaluaciones y sus validaciones en las diferentes áreas de trabajo.

Se realizan tareas de apoyo al control regulatorio y de desarrollo, en las siguientes áreas específicas:

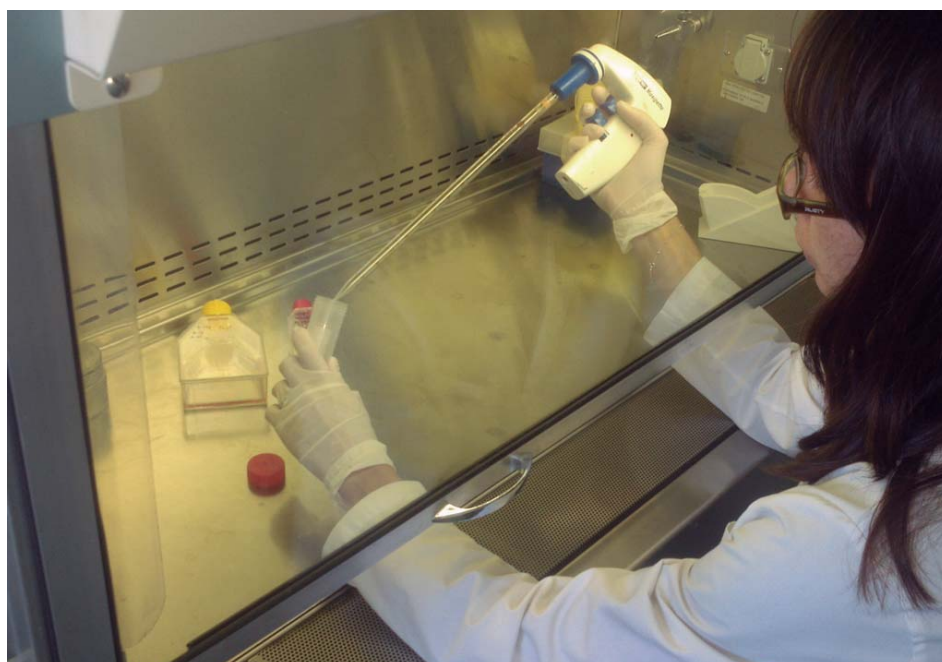
- Muestreos ambientales y de descargas y su correspondiente análisis.
- Evaluaciones de seguridad radiológica en la gestión de residuos radiactivos.
- Verificación de equipos de medición de radiación.
- Dosimetría en campos de radiación externa.
- Evaluación de la exposición interna en trabajadores y en las aplicaciones de radiofármacos en pacientes de medicina nuclear.
- Dosimetría biológica.
- Evaluación de blindajes.
- Evaluaciones de seguridad radiológica para la prevención de accidentes de criticidad.
- Medición de radón en ambientes laborales y en viviendas.
- Asesoramiento médico en radioprotección a partir de evaluaciones dosimétricas y radiobiológicas.
- Aplicación de Indicadores diagnósticos y pronósticos en situaciones de sobreexposición accidental.
- Estudio de los efectos de la exposición prenatal sobre el sistema nervioso central en desarrollo.

En el Centro Atómico Ezeiza, la ARN dispone de aproximadamente 2000 m<sup>2</sup> de laboratorios instalados dedicados a: dosimetría física (dosimetría termoluminescente para gamma y neutrones, dosimetría de neutrones), dosimetría biológica y dosimetría interna, evaluación in vivo de la carga corporal debida a exposición interna, radiopatología, análisis radioquímicos de muestras de descargas, ambientales y de inspección (espectrometría gamma y alfa, medición de actividad alfa y beta total, medición de actividad de bajo fondo y análisis específicos de radionucleidos), medición de radón, muestreo de descargas y determinación de la eficiencia de filtros.

En los laboratorios de análisis radioquímicos se analizan en forma rutinaria muestras de distintos tipos, entre ellas: aguas, suelos, sedimentos, vegetales, filtros y muestras biológicas, para la determinación de diferentes radionucleidos alfa, beta y gamma emisores. Se analizan también muestras provenientes de inspecciones y auditorías regulatorias.

En los laboratorios de mediciones de radiación, se realizan mediciones programadas y no programadas de carga corporal con el fin de determinar el cumplimiento de niveles apropiados de protección de las personas. Asimismo con el fin de realizar la evaluación de distintas situaciones de sobreexposición se aplican dosímetros e indicadores biológicos.

En el área de la dosimetría física se efectúan mediciones rutinarias de dosimetría personal y determinaciones de campos de radiación y las dosis involucradas en reactores, conjuntos críticos y aceleradores de uso médico y de investigación, así como la participación en las auditorías e inspecciones a las instalaciones, con fines regulatorios.



Laboratorio de Radiopatología.  
Trabajo con muestras bajo campana de flujo laminar de bioseguridad.

Los laboratorios y el personal que realiza la evaluación de la exposición interna participan regularmente en intercomparaciones de carácter internacional con el objeto de mantener los estándares requeridos para su funcionamiento. A su vez, organizan intercomparaciones en el ámbito nacional y en la región latinoamericana.

Tanto los laboratorios como otros grupos de trabajo pertenecientes a la GACT participan en proyectos coordinados de investigación, proyectos de colaboración y actividades en el marco del programa de cooperación técnica del OIEA, desarrollan actividades de investigación y desarrollo en apoyo a la actividad regulatoria y contribuyen con los grupos involucrados en la preparación para la respuesta frente a emergencias radiológicas y nucleares, y participan también en redes regionales e internacionales.

El Laboratorio de Dosimetría Biológica de la ARN, integrado a la red RANET perteneciente al sistema de respuesta y asistencia en situaciones de emergencias del OIEA, brinda asistencia para la estimación dosimétrica de personas involucradas en incidentes y accidentes ocurridos en la región latinoamericana.

Durante el año 2012 los laboratorios de las ARN han realizado más de 9000 determinaciones entre calibraciones, mediciones y evaluaciones.

Laboratorio de  
Dosimetría  
Biológica.  
Procesamiento  
de muestras  
bajo campana  
química.



### Acreditación de laboratorios

En marzo se realizó satisfactoriamente la evaluación de mantenimiento de la acreditación de los laboratorios de calibración y ensayo de la ARN ya acreditados ante el Organismo Argentino de Acreditación (OAA) -miembro de ILAC- conforme a la norma IRAM 301 (ISO/IEC 17025/2005).

Laboratorio	Material / producto	Ensayo	Norma / Procedimiento interno	Validación	Acreditado	
					Desde	Hasta
Laboratorio de Control Ambiental de la ARN (LE 116)	Agua	Determinación de la actividad de radionucleidos emisores gamma en agua	ISO 10703	---	15/02/2011	5/02/2015
	Agua	Determinación de uranio en agua por fluorimetría	Determinación de uranio en agua por fluorimetría (P-FLUO-03)	Determinación de uranio en agua por fluorimetría (P-FLUO-03)	15/02/2011	5/02/2015
	Agua	Determinación de trazas de uranio con equipo KPA	Norma ASTM D-5174-02	---	15/02/2011	5/02/2015
	Agua	Determinación de tritio en agua por centelleo líquido	Determinación de tritio en agua (P-TRIT-04)	Validación de métodos de ensayo y evaluación de las incertidumbres de medición (P-VALI-20)	15/02/2011	5/02/2015

Laboratorio	Material / producto	Ensayo	Norma / Procedimiento interno	Acreditado	
				Desde	Hasta
Laboratorio de Dosimetría Biológica de la ARN (LE 147)	Sangre humana	Dosimetría Biológica (Citogenética)	ISO 19238	25/02/2010	24/02/2014

**MAGNITUD: Kerma en aire, tasa de dosis equivalente ambiental (Sv/h)**

Laboratorio	Servicios	Campo de medición o régimen operativo	Capacidad de medición y calibración	Norma / Método
Laboratorio de Dosimetría Física de la ARN (LC 029)	Calibraciones de detectores de campo de radiación	Tasa de dosis entre 0,5 y 16 mSv/h (referida a la energía del cesio 137)	Incertidumbre total Expandida (k=2) porcentual=11%	Calibración de Equipos de Medición de Radiación P-DETE-29
				Calibración de equipos de Medición de campos de radiación gamma (I-DETE-01)

**MAGNITUD: Emisividad y Actividad superficial**

Laboratorio	Servicios	Campo de medición o régimen operativo	Capacidad de medición y calibración	Norma / Método
Laboratorio de Dosimetría Física de la ARN (LC 029)	Calibraciones de detectores de radiación	Contaminación superficial alfa, beta y gamma Rango de energía entre 157 keV y 5,4 MeV	Incertidumbre total Expandida (k=2) porcentual=11%	Calibración de Equipos de Medición de Radiación P-DETE-29
				Calibración de Equipos de Medición de Contaminación Superficial (I-DETE-02)

Los respectivos certificados están disponibles en la página web institucional.

A los efectos de garantizar la calidad de las mediciones y con el fin de producir resultados comparables, los laboratorios participaron durante todo el año en varios ejercicios de intercomparación con otros laboratorios internacionales y nacionales reconocidos, entre ellos: National Physical Laboratory (NPL), European Radiation Dosimetry Groups (EURADOS), National Institute of Standards and Technology (NIST), Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y Comisión Nacional de energía Atómica (CNEA). Estas intercomparaciones involucran a los 3 laboratorios acreditados y la aplicación de numerosas técnicas de determinación y medición por parte de ellos. Para esas actividades, operan con patrones certificados a fin de asegurar la trazabilidad de las mediciones.

Además se está trabajando en la puesta a punto de otras técnicas de determinación con el fin de lograr nuevas acreditaciones en el año 2013.