

# Parte IV

## VIGILANCIA RADIOLÓGICA OCUPACIONAL Y AMBIENTAL

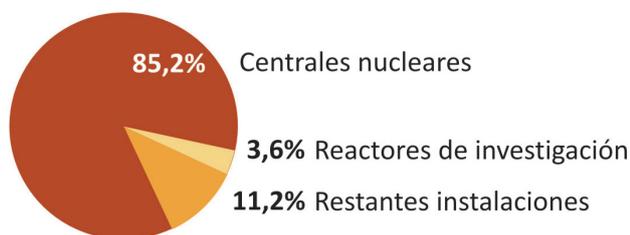
### Vigilancia radiológica ocupacional

#### 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 2013. 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 85% y el 92%, respectivamente.



Total: 3520 trabajadores

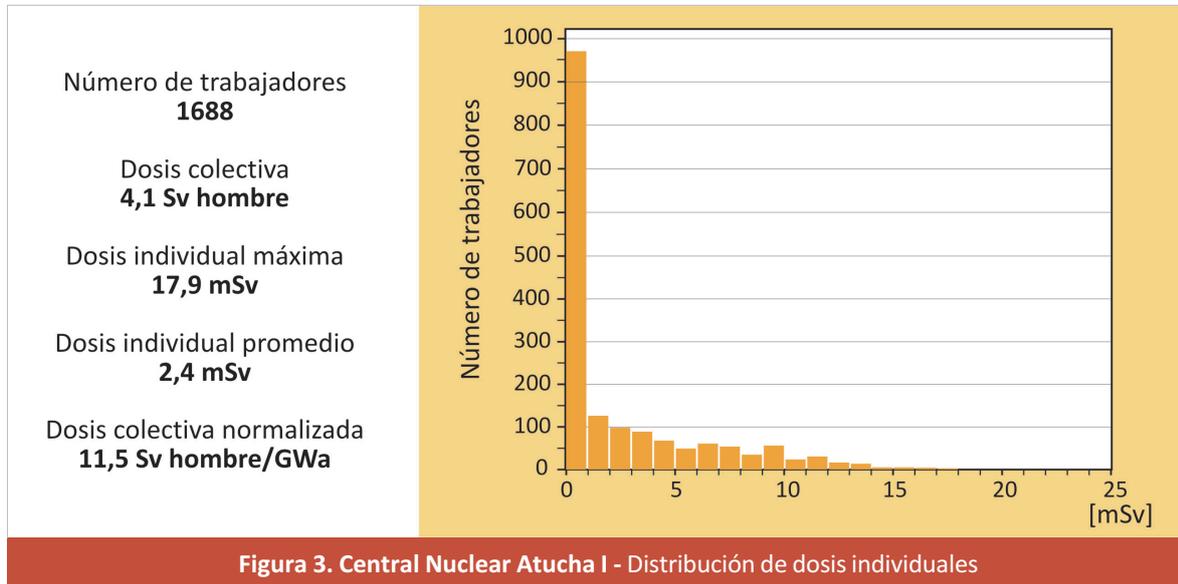
Figura 1.  
Distribución de  
trabajadores  
controlados en  
instalaciones  
relevantes

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



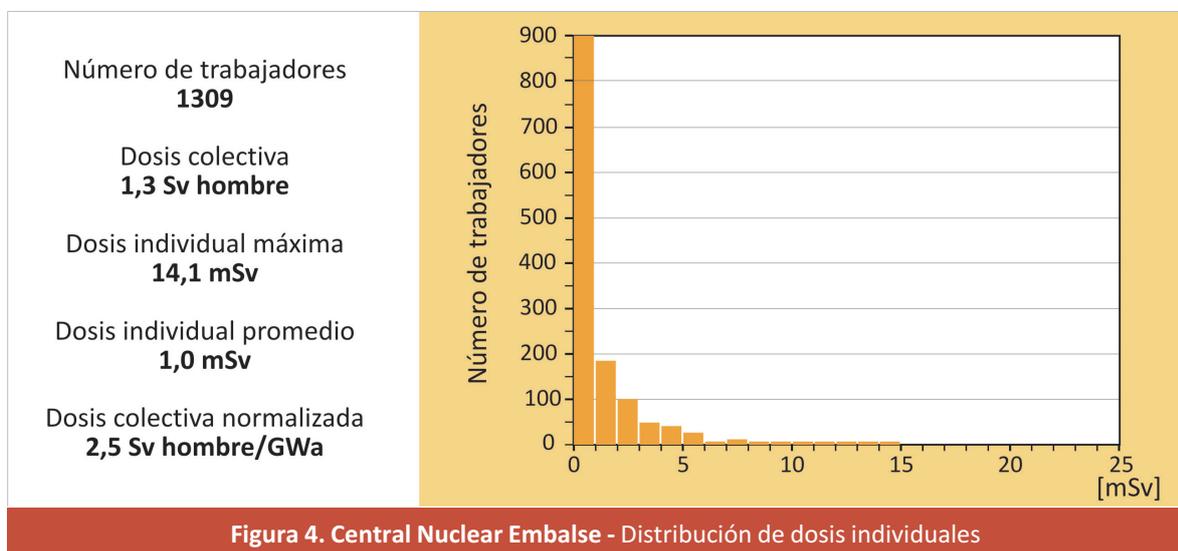
Total: 5,9 Sv hombre

La Figura 3 presenta la distribución de dosis individuales recibidas por los trabajadores de la CNA I durante el año 2013. En la misma puede observarse que todos los trabajadores recibieron una dosis individual menor que 18 mSv, y el 57% de ellos recibió una dosis individual anual menor que 1 mSv.



Durante el año 2013 la CNA I efectuó una parada programada para mantenimiento preventivo y correctivo de 7 semanas de duración. En el desarrollo de las tareas de la parada se recibió el 79% de la dosis colectiva anual total. La mayor parte de la dosis se debió a las tareas desarrolladas en la intervención en los generadores de vapor I y II, así como en la inspección de la vasija y toberas.

En la Figura 4 se presenta la distribución de dosis individuales de los trabajadores de la CNE correspondiente al año 2013. De la misma surge que ningún trabajador recibió una dosis individual anual superior a 15 mSv. El 69% de ellos recibió una dosis individual anual menor que 1 mSv.



La CNE efectuó durante el año 2013 una parada programada para mantenimiento preventivo y correctivo de aproximadamente 6 semanas de duración, además de 4 semanas de salida de servicio a solicitud del despachante. En el desarrollo de las tareas de la parada programada se recibió el 65% de la dosis colectiva anual total. El mayor aporte a esta dosis se originó en las tareas de inspección de los generadores de vapor.

Con respecto a las dosis individuales acumuladas en el quinquenio 2009-2013, 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	4,1	11,5	22	0,358
Central Nuclear Embalse	1,3	2,5	25	0,525

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	2,4	17,9	1688
Central Nuclear Embalse	1,0	14,1	1309

## Descargas de material radiactivo al ambiente

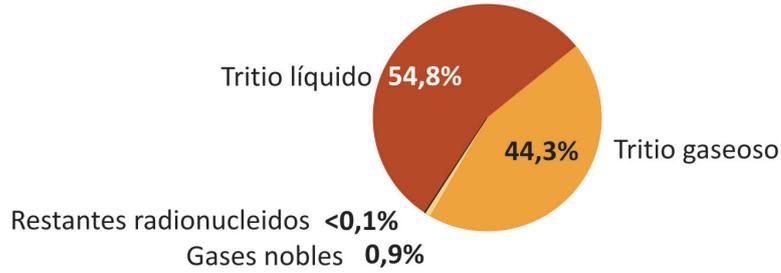
En esta sección se presentan los valores correspondientes a la descarga controlada de efluentes radiactivos al ambiente durante la operación de las centrales nucleares en el año 2013.

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, en concordancia con las características de estas centrales nucleares, la cual representó el 94,5% para la CNA I y 99,1% para la CNE. Al igual que en el año 2012, el aumento en la contribución del tritio en la CNE, respecto de años anteriores, se debió al incremento en la descarga líquida de tritio causada por la pérdida de agua pesada en uno de los generadores de vapor.

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



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



Control de descargas al ambiente en una central nuclear



## Dosis en la población

### Dosis en la persona representativa (ex grupo crítico)

La Figura 7 muestra la dosis en la persona representativa debido a las descargas controladas de material radiactivo al ambiente, efectuadas en el 2013, correspondiente a la CNA I y a la CNE. En la misma puede observarse que estas dosis están muy por debajo del límite anual de dosis para el público, representando menos del 2% de dicho límite.

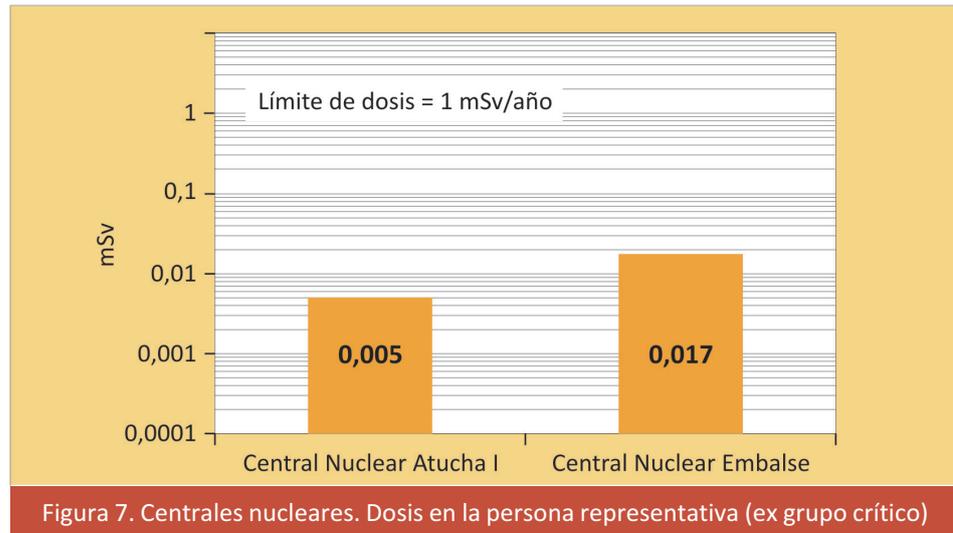


Figura 7. Centrales nucleares. Dosis en la persona representativa (ex grupo crítico)

Las dosis mencionadas fueron determinadas a partir de las descargas al ambiente, medidas por los operadores, y la aplicación de los modelos de transferencia ambiental recomendados a nivel internacional.

Las Figuras 8 y 9 muestran las dosis, en las correspondientes personas representativas, debido a las descargas al ambiente efectuadas durante el mismo período por ambas centrales nucleares, comparadas con el límite anual de dosis para el público (1mSv/año). Las dosis (y los correspondientes porcentajes) han sido estimadas para las descargas de los radionucleidos, o grupos de radionucleidos, más relevantes.

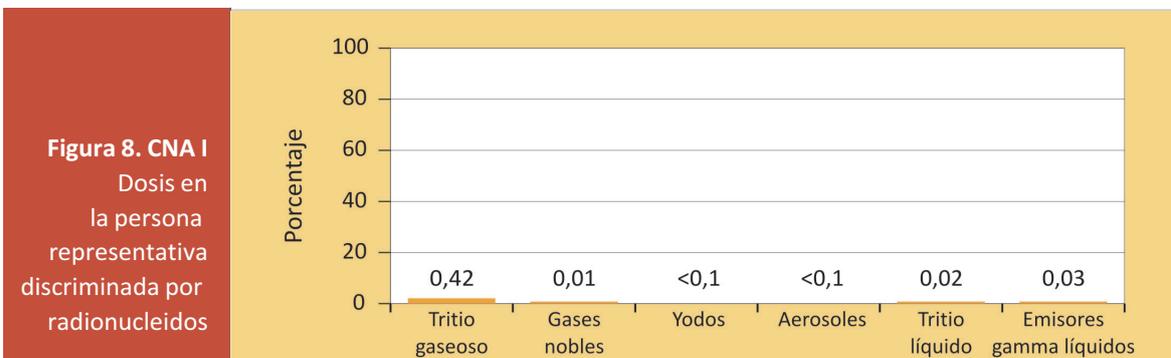


Figura 8. CNA I  
Dosis en la persona representativa discriminada por radionucleidos

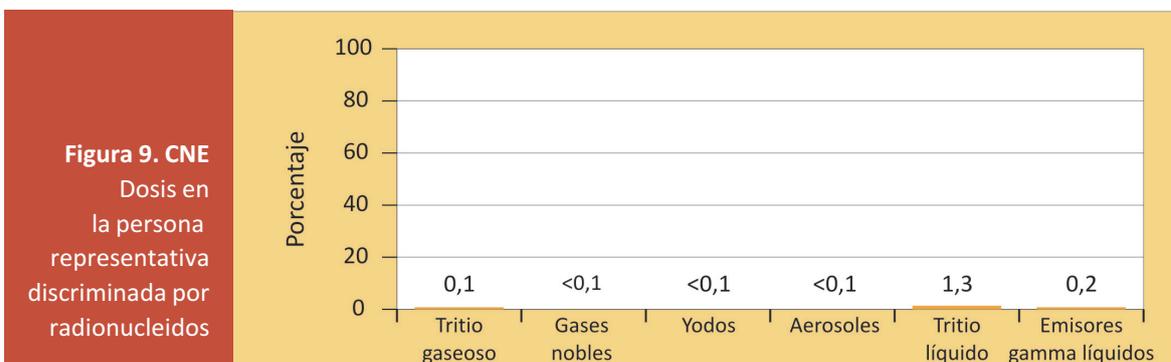


Figura 9. CNE  
Dosis en la persona representativa discriminada por radionucleidos

### Dosis colectiva

La siguiente tabla muestra los valores de dosis colectiva regional -hasta 2000 km-normalizada con la energía generada, para CNA I y CNE.

	Dosis debida a descargas gaseosas Sv hombre/GWa	Dosis debida a descargas líquidas Sv hombre/GWa	Dosis total Sv hombre/GWa
Central Nuclear Atucha I	0,24	0,65	0,89
Central Nuclear Embalse	0,03	0,62	0,65

La dosis colectiva global normalizada con la energía generada, debido a las descargas de tritio, resultaron 1,01 Sv hombre y 0,48 Sv hombre por GWa año para la CNA I y la CNE, respectivamente.

## Vigilancia radiológica ambiental

El marco regulatorio actual para los programas de monitoreo radiológico ambiental se establece a partir del dictado, en el año 1997, de la Ley N° 24.804 denominada Ley Nacional de la Actividad Nuclear, mediante la cual se crea la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) como sucesor del Ente Nacional Regulador Nuclear. En el capítulo II, artículo 16, inciso m, se establece como función de la ARN "Evaluar el impacto ambiental de toda actividad que licencie, entendiéndose por tal aquellas actividades de monitoreo, estudio y seguimiento de la licencia, evolución o posibilidad de daño ambiental que pueda provenir de la actividad nuclear licenciada". Cabe señalar que la intervención de la ARN en lo que a ambiente humano se refiere se limita al impacto ambiental radiológico que puede provenir de la descarga de efluentes radiactivos.

En concordancia con el principio básico de la protección radiológica de mantener la exposición de la población tan baja como sea razonablemente posible, se establecen para aquellas instalaciones nucleares y radiactivas cuyas actividades así lo requieran, valores autorizados de descarga de radionucleidos al medio ambiente de manera tal que no se superen los límites y restricciones de dosis establecidos para el público.

De acuerdo a lo establecido en la Ley N° 24.804 y en la Norma Básica AR 10.1.1 Rev. 3, la ARN lleva adelante un plan anual de monitoreo radiológico ambiental independiente en las inmediaciones de las distintas instalaciones nucleares y radiactivas del país. Este monitoreo radiológico ambiental consiste en la determinación de la tasa de dosis ambiental y en la medición de la concentración de actividad de radionucleidos en las diferentes matrices ambientales.

A continuación se presentan los criterios generales para la selección de las matrices ambientales, puntos de muestreo, radionucleidos a analizar y frecuencia de muestreo y ensayo adoptados por la ARN.

- Matrices a muestrear: se toman muestras de aquellas matrices relacionadas en forma directa con las emisiones y su distribución en el ambiente, aquellas de consumo directo por el hombre y las matrices que integren radionucleidos durante un período de tiempo.
  - Matrices asociadas a las descargas gaseosas: Tasa de dosis ambiental, material particulado y yodos en aire, condensado de humedad, suelos, alimentos.
  - Matrices asociadas a las descargas líquidas: aguas superficiales, agua subterráneas, sedimentos (orilla y profundidad), peces, alimentos (en caso de que sean regados con agua de cuerpos receptores de efluentes).

Asimismo, el plan de monitoreo radiológico ambiental incluye muestras de distintos alimentos (peces, vegetales, leche y agua de consumo humano), los cuales suelen ser también de interés público. Las matrices suelo y sedimentos, además son integradoras en el tiempo.

- Puntos de muestreo: Se consideran muestras ambientales a aquellas tomadas fuera de los límites físicos de las instalaciones monitoreadas.

Se considera que mínimamente deben muestrearse tres puntos distintos:

- Un punto aguas arriba o vientos arriba, que no esté influenciado por las descargas de la instalación y donde los niveles de fondo ambiental sean similares a los obtenidos en los estudios preoperacionales asociados a la instalación. Este punto se denomina Punto Blanco o de referencia.
- Un punto de muestreo ubicado en la zona de máxima concentración de radionucleidos esperada para cada una de los dos tipos de emisiones (gaseosas y líquidas). Este punto se denomina Punto de Máxima, y en algunos casos coincidirá con la ubicación de la persona representativa.
- Un punto que debe coincidir con la ubicación de la persona representativa, a partir de la cual se puedan hacer cálculos de dosis con valores ambientales reales, para verificar los modelos utilizados. Este punto se denomina punto Persona Representativa.

Es importante destacar que pueden agregarse puntos de muestreo y/o matrices adicionales, asociados a las necesidades de información de la población en las inmediaciones de las instalaciones nucleares o radiactivas. Estos puntos son denominados puntos de interés público.

- Radionucleidos a analizar: El criterio adoptado es cubrir todo el espectro de radionucleidos para los cuales se han fijado valores autorizados de descarga y que de acuerdo a sus tiempos de vida media y porcentajes descargados sean plausibles de ser medidos en matrices ambientales.
- Frecuencia de muestreo: se tienen en cuenta factores como la frecuencia de descargas y la actividad descargada, el tiempo de decaimiento de los radionucleidos involucrados y su relevancia y la variabilidad espacial y temporal de las matrices analizadas.

Las instalaciones, alrededor de las cuales la ARN ha efectuado monitoreos radiológicos ambientales durante el año 2013 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 ("Dioxitek" - ex Complejo fabril Córdoba)(Provincia 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.



**Figura 10.**  
Instalaciones  
bajo control  
ambiental

Adicionalmente, la ARN lleva adelante un programa de monitoreo ambiental de gas radón centrado en la medición de la concentración de radón en aire de las viviendas próximas a los complejos y ex complejos de la minería de uranio. Cabe señalar que desde el año 1983 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. Los resultados de estas mediciones pueden observarse en el informe anual correspondiente al año 2012.

La ARN cuenta con laboratorios propios acreditados según la Norma IRAM 301/2005. Las muestras correspondientes a las matrices ambientales se analizaron en el Laboratorio de Control Ambiental mientras que las muestras de tasa de dosis ambiental fueron analizadas en el Laboratorio de Dosimetría Física.

Con el fin de acondicionar las muestras para los ensayos, las mismas fueron pre-tratadas de acuerdo a procedimientos vigentes: las muestras de agua son filtradas (excepto las aguas de consumo humano), acidificadas (cuando la técnica de ensayo lo permite), 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 cobalto 60, yodo 131 y cesio 137 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 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 punto es necesario aclarar que las determinaciones de alfa y beta totales se utilizan como técnicas de screening dado que como indica la palabra "totales" la actividad obtenida se debe al aporte de los radionucleidos naturales más los radionucleidos artificiales que pudieran aportar las descargas de las instalaciones nucleares y radiactivas. En el caso de las determinaciones alfa y beta totales en agua, cuando se 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, radio 226 en el caso de los emisores alfas y estroncio 90 para emisores betas.

En el caso particular de suelos y sedimentos, la presencia del radionucleido natural potasio 40 enmascara la presencia del radionucleido estroncio 90, por tal motivo para aquellas instalaciones que tienen autorizada la descarga de dicho radionucleido se solicita el análisis específico de estroncio 90.



Las tablas de resultados obtenidos se confeccionaron a partir de los siguientes criterios: los resultados se presentan para cada matriz ambiental analizada, informándose los resultados por radionucleido analizado y por punto de muestreo, ubicado aguas arriba o aguas abajo de la instalación, para aquellos puntos de muestreo asociados a las descargas líquidas; o, vientos arriba o vientos abajo, para aquellos puntos de muestreo relacionados con las descargas gaseosas.

Los 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.



Monitoreo radiológico ambiental. Toma de muestras, ex Complejo minero fabril Los Colorados, La Rioja

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

En aquellas muestras que presentan valores de concentración de actividad menores al LD: se considera que la actividad máxima de la muestra es menor al valor del límite de detección.

Para el caso de aquellas muestras en que no haya ningún valor por encima del límite de detección, se utilizará la sigla “na” (no aplica) para los valores promedios y mínimos.

La evaluación de los resultados obtenidos se realiza comparando dichos valores con los establecidos en la normativa y recomendaciones nacionales e internacionales, así como también con los valores históricos obtenidos de los muestreos realizados por esta ARN.

Es importante destacar, en relación a los límites de detección de las técnicas radioquímicas utilizadas, que los mismos son al menos un orden de magnitud menor que los niveles guía recomendados por la legislación nacional o internacional aplicable.



Adicionalmente, es importante señalar que llevar adelante un plan de monitoreo radiológico ambiental y evaluar los resultados obtenidos a partir del mismo, permite responder a inquietudes de la opinión pública sobre el tema.

## Centrales nucleares

### Central Nuclear Atucha I (CNA I)

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

La siguiente tabla general muestra el plan de monitoreo radiológico ambiental anual llevado a cabo por la ARN en las inmediaciones de la CNA I. En la misma se especifica: el tipo de muestra, radionucleido a analizar, frecuencia de muestreo, frecuencia de ensayo y puntos de muestreo.

Tipo de muestra	Radionucleido a analizar <sup>(*)</sup>	Frecuencia de muestreo	Frecuencia de ensayo	Puntos de muestreo
Tasa de dosis ambiental	emisores gamma	continua, con dosímetros (TLD)	semestral	CNA3, CNA4, CNA14, CNA17, CNA24, CNA26
Particulado en aire	emisores gamma	anual (muestra integrada de 1 semana)	anual	CNA3, CNA4, CNA14, CNA24
	estroncio 90			
Condensado de humedad	tritio	continua	semanal	CNA3, CNA4, CNA14, CNA24
Leche de vaca de la zona	yodo 131	mensual	mensual	CNA25
	tritio		pool trimestral	
	emisores gamma	semanal	pool semestral	
	estroncio 90			
Suelos	emisores gamma	anual	anual	CNA4, CNA14, CNA24
	estroncio 90			
Vegetales y frutas de la zona	tritio	mensual	pool trimestral	CNA9
	emisores gamma		pool semestral	
	estroncio 90			
Agua superficial (de río)	tritio	mensual	mensual	CNA2, CNA24
		trimestral	trimestral	CNA19
	emisores gamma	mensual	pool trimestral	CNA2, CNA24
		trimestral	trimestral	CNA19
	emisores alfa-beta	mensual	pool trimestral	CNA2, CNA24
		trimestral	trimestral	CNA19
Agua de consumo humano (agua subterránea)	tritio	mensual	mensual	CNA2, CNA20, CNA21
	emisores gamma		pool trimestral	
	emisores alfa-beta			
Sedimentos (fondo y orilla)	emisores gamma	anual	anual	CNA2, CNA19, CNA24,
	estroncio 90 (sólo sedimentos de fondo)			
Peces (pesca del río Paraná en zona de influencia de la central)	emisores gamma	mensual	pool semestral	CNA12
	estroncio 90			

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

Asimismo, la ubicación de los puntos de muestreo de las distintas matrices analizadas se presentan en los mapas de la Figura 11.

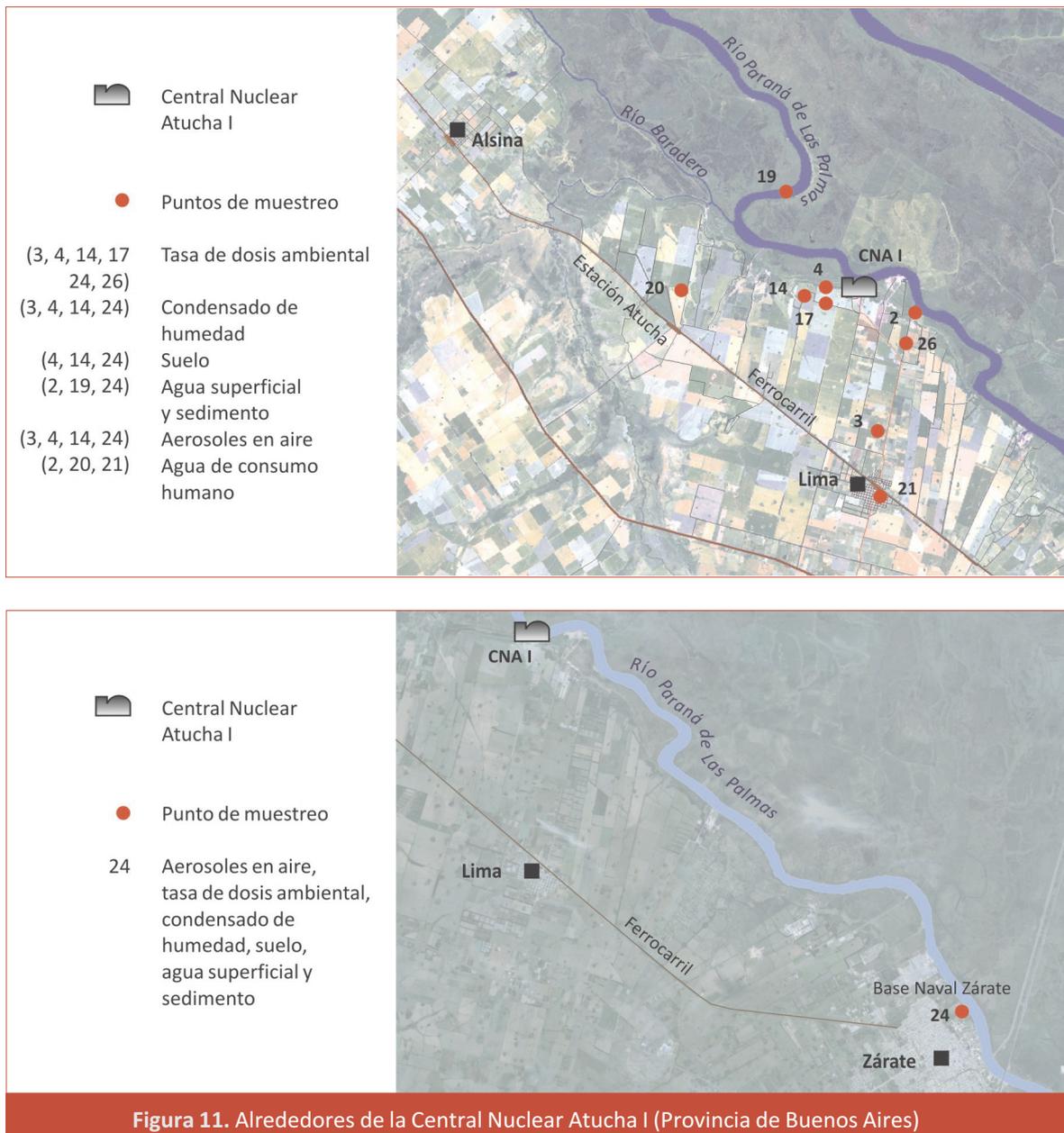


Figura 11. Alrededores de la Central Nuclear Atucha I (Provincia de Buenos Aires)

Con respecto al monitoreo de alimentos, se seleccionaron muestras de productos de quinta cultivados lo más próximo posible a la CNA I. Las muestras de leche se obtienen de tambos con zonas de pastoreo ubicadas dentro de un radio de 5 km alrededor de la central.

Durante el año 2013 se tomaron en total 308 muestras en los diferentes puntos de muestreo, sobre las que se realizaron diversas determinaciones y análisis radioquímicos. 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 $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	4	4	4	4
Nº análisis >LD	0	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 8; cesio 0,02; cobalto 0,02; emisores $\alpha$ total 0,05; emisores $\beta$ total 0,08					
Aguas abajo de CNA I - persona representativa (punto CNA 2)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	14,2	na	na	0,03	0,14
Máximo (Bq/l)	61,8	<LD	<LD	0,04	0,21
Mínimo (Bq/l)	<LD	na	na	<LD	0,10
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis >LD	2	0	0	2	4
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,02; cobalto 0,02; emisores $\alpha$ total 0,02					
Aguas abajo de CNA I (punto CNA 24)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	9,8	na	na	0,025	0,11
Máximo (Bq/l)	31,2	<LD	<LD	0,030	0,14
Mínimo (Bq/l)	<LD	na	na	<LD	<LD
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis >LD	2	0	0	3	3
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,02; cobalto 0,02; emisores $\alpha$ total 0,01; emisores $\beta$ total 0,07					

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

Concentración de actividad en muestras de aerosoles totales en aire ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )			
Punto Blanco (punto CNA 24)			
cesio 137	cobalto 60	yodo 131	estroncio 90
<LD	<LD	<LD	<LD
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 1,4; cobalto 2,1; yodo 1,4; estroncio 2,3			
Punto de interés público (punto CNA 3)			
cesio 137	cobalto 60	yodo 131	estroncio 90
<LD	<LD	<LD	<LD
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 1,7; cobalto 1,7; yodo 1,7; estroncio 1,7			
Punto de Máxima (punto CNA 4)			
cesio 137	cobalto 60	yodo 131	estroncio 90
<LD	<LD	<LD	<LD
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 1,4; cobalto 2,0; yodo 1,4; estroncio 1,8			

LD = mayor límite de detección determinado

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)	0,7	<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 0,5; cobalto 0,4; estroncio 1,5					
Aguas abajo de CNA I - persona representativa (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)	0,4	0,5	0,6	0,9	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	1	1	1	1	1
Nº análisis >LD	1	1	1	1	0
LD (Bq/kg): estroncio 1,5					
Aguas abajo de CNA I (punto CNA 24)					
	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)	<LD	<LD	0,4	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	1	1	1	1	1
Nº análisis >LD	0	0	1	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,4; cobalto 0,3; estroncio 1,6					

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)	0,07	na	na
Máximo (Bq/kg)	0,11	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	<LD	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis >LD	1	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,03; cobalto 0,03; estroncio 0,32			

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

Tasa de dosis ambiental CNA I - nGy/h (promedio anual)				
punto CNA 3	punto CNA 4	punto CNA 17	punto CNA 24	punto CNA 26
52,6	62,0	55,7	52,5	53,2

Concentración de actividad en aguas de consumo humano (proveniente de aguas subterráneas)					
Napas arriba de CNA I, interés público (punto CNA 20)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	na	na	na	0,23	0,64
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	0,28	0,72
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	0,17	0,60
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis >LD	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,2; cobalto 0,1					
Persona representativa (punto CNA 2)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	na	na	na	0,08	0,20
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	0,10	0,23
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	0,04	0,17
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis >LD	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,2; cobalto 0,1					
Agua de la ciudad de Lima (punto CNA 21)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	na	na	na	0,14	0,46
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	0,15	0,52
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	0,11	0,41
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis >LD	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,2; cobalto 0,1					

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

Concentración de actividad en condensados de humedad			
	Punto de interés público (punto CNA 3)	Punto de Máxima (punto CNA 4)	Punto Blanco (punto CNA 24)
	tritio	tritio	tritio
Promedio (Bq/m <sup>3</sup> )	0,3	4,0	na
Máximo (Bq/m <sup>3</sup> )	1,8	14,0	0,2
Mínimo (Bq/m <sup>3</sup> )	<LD	0,4	<LD
Nº muestras analizadas	42	38	14
Nº análisis >LD	22	38	1
LD (Bq/m <sup>3</sup> ): 0,1		LD (Bq/m <sup>3</sup> ): 0,1	

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

Concentración de actividad en suelos			
Punto Blanco (punto CNA 24)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	0,4	<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 1,5			
Punto de Máxima (punto CNA 4)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	0,8	<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 1,5			

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

Concentración de actividad en alimentos vegetales de la zona				
Frutas				
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	18,3	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	31,1	<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 13; cesio 0,006; cobalto 0,004; estroncio 0,14				
Verduras de hoja				
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	26,3	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	69,8	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	<LD	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	2	2	2
Nº análisis >LD	2	0	0	0
LD (Bq/kg): tritio 13; cesio 0,02; cobalto 0,02; estroncio 0,15				

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)	8,9	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	11,6	<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 0,06					

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

## Conclusiones

Los resultados de las mediciones realizadas en las distintas muestras analizadas, indican lo siguiente:

- Se detectó la presencia de tritio en muestras de condensado de humedad, en agua del Río Paraná de las Palmas, en leche y en alimentos.
- Se detectaron trazas de cesio 137 y cobalto 60 en algunas muestras de sedimentos y de suelos. Se detectaron trazas de cesio 137 en muestras de peces.

Es necesario aclarar que estos valores son insignificantes desde el punto de vista dosimétrico. La dosis estimada a partir de dichos valores se encuentra muy por debajo del límite de dosis para el público de 1 mSv/a.

- En el caso de las muestras de agua, cabe señalar que todos los resultados analizados de actividad alfa-beta total resultaron ser menores a los valores guía establecidos por la OMS (0,5 y 1,0 Bq/l, respectivamente).
- Asimismo, los resultados obtenidos para aguas de consumo humano no superan en ningún caso los valores guía de la OMS específicos para esta matriz.
- El promedio de los niveles de tasa de dosis ambiental medido en la zona resultó igual a 55,2 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, en todos los casos son inferiores a los establecidos en la normativa vigente, verificándose, de manera independiente y complementaria al control de las descargas, que no se supera el límite de dosis para el público.

## Central Nuclear Embalse (CNE)

---

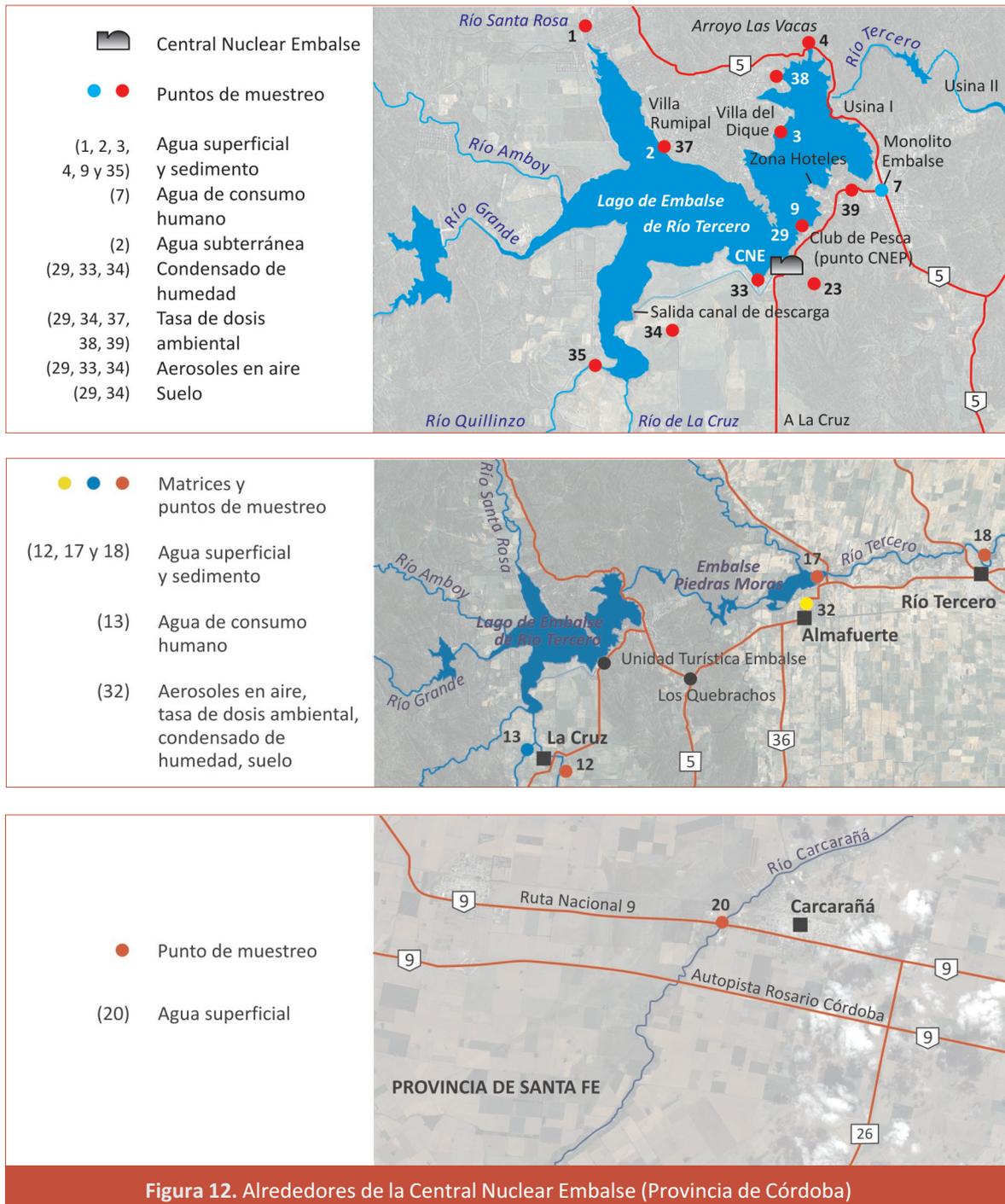
La Central Nuclear Embalse está ubicada sobre la margen este del Embalse Río Tercero, ubicado en el centro-oeste de la provincia de Córdoba. Para el monitoreo radiológico ambiental rutinario en los alrededores de la CNE, se tomaron muestras representativas de los diferentes compartimentos de la matriz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

Al igual que para la CNA I, la siguiente tabla general muestra el plan de monitoreo radiológico ambiental anual llevado a cabo por la ARN en las inmediaciones de la CNE. En la misma se especifica: el tipo de muestra, radionucleido a analizar, frecuencia de muestreo, frecuencia de ensayo y puntos de muestreo.

Tipo de muestra	Radionucleido a analizar (*)	Frecuencia de muestreo	Frecuencia de ensayo	Puntos de muestreo
Tasa de dosis ambiental	emisores gamma	continua, con dosímetros (TLD)	semestral	CNE29, CNE32, CNE34, CNE37, CNE38, CNE39
Particulado en aire	emisores gamma	anual (muestra integrada de 1 semana)	anual	CNE29, CNE32, CNE33, CNE34,
	estroncio 90			
Condensado de humedad	tritio	continua	semanal	CNE29, CNE32, CNE33, CNE34
Leche de vaca de la zona	yodo 131	mensual	mensual	CNE36
	tritio		pool trimestral	
	emisores gamma	semanal	pool semestral	
	estroncio 90			
Vegetales y frutas de la zona	tritio	mensual	pool trimestral	CNE31
	emisores gamma		pool semestral	
	estroncio 90			
Suelos	emisores gamma	anual	anual	CNE29, CNE32, CNE34
	estroncio 90			
Agua superficial (lago/río)	tritio	mensual	mensual	CNE2, CNE9
		semestral	semestral	CNE1, CNE3, CNE4, CNE12, CNE17, CNE18, CNE20, CNE35
	emisores gamma	mensual	pool trimestral	CNE2, CNE9
		semestral	semestral	CNE1, CNE3, CNE4, CNE12, CNE17, CNE35
	emisores alfa-beta	mensual	pool trimestral	CNE2, CNE9
		semestral	semestral	CNE1, CNE3, CNE4, CNE12, CNE17, CNE35
Agua de consumo humano	tritio	mensual	mensual	CNE7
		semestral	semestral	CNE13
	emisores gamma	mensual	pool trimestral	CNE7
		semestral	semestral	CNE13
	emisores alfa-beta	mensual	pool trimestral	CNE7
		semestral	semestral	CNE13
Agua subterránea	tritio	mensual	mensual	CNE2
	emisores gamma		pool trimestral	
	emisores alfa-beta			
Sedimentos	emisores gamma	anual	anual	CNE1, CNE2, CNE3
	estroncio 90			CNE4, CNE9, CNE12, CNE17, CNE35
Peces (pesca del embalse del río Tercero)	emisores gamma	mensual	pool semestral	CNE24
	estroncio 90			

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

Asimismo, la ubicación de los puntos de muestreo de las distintas matrices analizadas se presentan en los mapas de la Figura 12.



Con respecto al monitoreo de alimentos, se seleccionaron muestras de productos de quinta cultivados lo más próximo posible a la CNE. Las muestras de leche se obtienen de tambos con zonas de pastoreo ubicadas dentro de un radio de 8 km alrededor de la central.

Durante el año 2013 el total de muestras tomadas en las inmediaciones de las CNE fue de 317 muestras (en los diferentes puntos de muestreo) sobre las que se realizaron las determinaciones y análisis radioquímicos.

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 $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	944	na	na	na	0,09
Máximo (Bq/l)	1220	<LD	<LD	0,03	0,14
Mínimo (Bq/l)	434	na	na	<LD	<LD
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis >LD	12	0	0	2	3
LD (Bq/l): cesio 0,02; cobalto 0,02; emisores $\alpha$ total 0,025; emisores $\beta$ total 0,06					
Embalse Río Tercero, persona representativa (punto CNE 9)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	886	na	na	na	0,10
Máximo (Bq/l)	1227	<LD	<LD	0,04	0,16
Mínimo (Bq/l)	413	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 $\alpha$ total 0,03; emisores $\beta$ total 0,06					
Embalse Río Tercero (punto CNE 3)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	1008	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	1056	<LD	<LD	<LD	0,07
Mínimo (Bq/l)	960	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2	2	2
Nº análisis >LD	2	0	0	0	0
LD (Bq/l): cesio 0,02; cobalto 0,02; emisores $\alpha$ total 0,03					
Río Santa Rosa - aguas arriba de CNE (punto CNE 1)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	na	na	na	0,04	0,12
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	0,06	0,16
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	<LD	0,08
Nº muestras analizadas	2	2	2	2	2
Nº análisis >LD	0	0	0	1	2
LD (Bq/l): tritio 8; cesio 0,02; cobalto 0,02; emisores $\alpha$ total 0,02					
Río La Cruz - aguas arriba de CNE (punto CNE 12)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	na	na	na	0,08	0,18
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	0,13	0,25
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	0,03	0,10
Nº muestras analizadas	2	2	2	2	2
Nº análisis >LD	0	0	0	2	2
LD (Bq/l): tritio 8; cesio 0,02; cobalto 0,02					
Río Quillínz - aguas arriba de CNE (punto CNE 35)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na	0,09
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD	0,12
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na	<LD
Nº muestras analizadas	2	2	2	2	2
Nº análisis >LD	0	0	0	0	1
LD (Bq/l): tritio 8; cesio 0,02; cobalto 0,02; emisores $\alpha$ total 0,04; emisores $\beta$ total 0,06					

Concentración de actividad en aguas superficiales (continuación)					
Arroyo Las Vacas - aguas abajo de CNE (punto CNE 4)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	977	na	na	0,025	0,09
Máximo (Bq/l)	1050	<LD	<LD	0,03	0,12
Mínimo (Bq/l)	904	na	na	<LD	<LD
Nº muestras analizadas	2	2	2	2	2
Nº análisis >LD	2	0	0	1	1
LD (Bq/l): cesio 0,03; cobalto 0,02; emisores $\alpha$ total 0,02; emisores $\beta$ total 0,06					
Embalse Piedras Moras - aguas abajo de CNE (punto CNE 17)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	767	na	na	na	0,11
Máximo (Bq/l)	925	<LD	<LD	<LD	0,13
Mínimo (Bq/l)	609	na	na	na	0,08
Nº muestras analizadas	2	2	2	2	2
Nº análisis >LD	2	0	0	0	2
LD (Bq/l): cesio 0,03; cobalto 0,01; emisores $\alpha$ total 0,02					
Balneario Río Tercero - aguas abajo de CNE (punto CNE 18)					
	tritio				
Promedio (Bq/l)	742				
Máximo (Bq/l)	890				
Mínimo (Bq/l)	593				
Nº muestras analizadas	2				
Nº análisis >LD	2				
Río Carcarañá - aguas abajo de CNE (punto CNE 20)					
	tritio				
Promedio (Bq/l)	215				
Máximo (Bq/l)	299				
Mínimo (Bq/l)	130				
Nº muestras analizadas	2				
Nº análisis >LD	2				

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 $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	57,3	na	na	0,25	0,41
Máximo (Bq/l)	103,3	<LD	<LD	0,31	0,58
Mínimo (Bq/l)	<LD	na	na	0,20	0,30
Nº muestras analizadas	11	4	4	4	4
Nº análisis >LD	10	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 8; cesio 0,2; cobalto 0,1					

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

Concentración de actividad en sedimentos de orilla			
Embalse Río Tercero (punto CNE 2)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cesio 0,7; cobalto 0,7; estroncio 1,7			
Embalse Río Tercero, persona representativa (punto CNE 9)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/kg)	1	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cobalto 0,3; estroncio 1,7			
Embalse Río Tercero (punto CNE 3)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/kg)	4	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cobalto 0,4; estroncio 1,6			
Río Santa Rosa - aguas arriba de CNE (punto CNE 1)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/kg)	2,7	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cobalto 0,5; 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 0,3; estroncio 1,4			
Río Quillín - aguas arriba de CNE (punto CNE 35)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/kg)	1,2	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cobalto 0,5; estroncio 1,5			
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 0,3; estroncio 1,5			
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 0,4; cobalto 0,4; estroncio 1,5			

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

Tasa de dosis ambiental CNE - nGy/h (promedio anual)					
Punto 29	Punto 32	Punto 34	Punto 37	Punto 38	Punto 39
56,9	71,4	62,5	84,8	66,3	70,7

Concentración de actividad en aguas de consumo humano					
Ciudad de Embalse Río Tercero (punto CNE 7)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	885	na	na	0,05	0,12
Máximo (Bq/l)	1123	<LD	<LD	0,11	0,19
Mínimo (Bq/l)	420	na	na	<LD	<LD
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis >LD	12	0	0	2	3
LD (Bq/l): cesio 0,2; cobalto 0,2; emisores $\alpha$ total 0,03; emisores $\beta$ total 0,06					
Ciudad de La Cruz (punto CNE 13)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	na	na	na	0,07	0,14
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	0,08	0,19
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	0,05	0,08
Nº muestras analizadas	2	2	2	2	2
Nº análisis >LD	0	0	0	2	2
LD (Bq/l): tritio 8; cesio 0,2; 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)	0,08	na	na
Máximo (Bq/kg)	0,09	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	0,07	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis >LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cobalto 0,02; estroncio 0,11			

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

Concentración de actividad en condensados de humedad			
	Persona representativa (punto CNE 29)	Punto Blanco (punto CNE 32)	Punto de Máxima concentración (punto CNE 34)
	tritio	tritio	tritio
Promedio (Bq/m <sup>3</sup> )	2,6	1,7	2,8
Máximo (Bq/m <sup>3</sup> )	9,7	3,6	11
Mínimo (Bq/m <sup>3</sup> )	0,8	0,5	0,4
Nº muestras analizadas	46	10	39
Nº análisis >LD	46	10	39

Concentración de actividad en muestras de aerosoles totales en aire ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )				
Persona representativa (punto CNE 29)				
	cesio	cobalto 60	yodo 131	estroncio 90
Muestra anual ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )	<LD	<LD	<LD	<LD
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 0,8; cobalto 1,7; yodo 0,8; estroncio 2,5				
Punto Blanco (punto CNE 32)				
	cesio 137	cobalto 60	yodo 131	estroncio 90
Muestra anual ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )	<LD	<LD	<LD	<LD
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 1,5; cobalto 0,8; yodo 1,5; estroncio 1,5				
Punto de Máxima (punto CNE 34)				
	cesio 137	cobalto 60	yodo 131	estroncio 90
Muestra anual ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )	<LD	<LD	<LD	<LD
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 6,2; cobalto 6,2; yodo 6,2; estroncio 9,4				

LD = mayor límite de detección determinado

Concentración de actividad en suelos			
Puto Blanco (punto CNE 32)			
	cesio	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/kg)	3,7	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cobalto 0,4; estroncio 1,6			
Persona representativa (punto CNE 29)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/kg)	4,5	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cobalto 0,2; estroncio 2,9			
Punto de Máxima (punto CNE 34)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/kg)	1,4	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cobalto 0,3; estroncio 1,7			

LD = mayor límite de detección determinado

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)	19,6	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	42,5	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	<LD	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	12	2	2	2
Nº análisis >LD	2	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 7,0; yodo 0,2; cesio 0,01; cobalto 0,007; estroncio 0,06					

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)	175	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	305	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	69	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	2	2	2
Nº análisis >LD	4	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,009; cobalto 0,007; estroncio 0,08				
Verduras de hoja				
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	50,1	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	89,4	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	16,7	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	2	2	2
Nº análisis >LD	4	0	0	0
LD (Bq/kg): tritio 11; cesio 0,02; cobalto 0,01; estroncio 0,2				

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

## Conclusiones

Los resultados de las mediciones realizadas en las distintas muestras analizadas, indican lo siguiente:

- Se detectó la presencia de tritio en muestras de agua de lago, agua de río, condensado de humedad, agua subterránea, agua de consumo humano, leche y en alimentos.

Durante el año 2013 se ha observado un incremento en la concentración de tritio en aguas en relación al año anterior. Esto se debe al incremento de la descarga de este radionucleido con los efluentes líquidos. Es importante remarcar que estos niveles de descarga no superaron los valores autorizados de descarga. Por ende, las concentraciones de tritio medidas en agua potable y agua de napa (agua de consumo humano) se encuentran muy por debajo de los valores guía de la OMS.

- Se detectaron trazas de cesio 137 en muestras de peces, suelos y sedimentos.

Se puede observar que no existen diferencias significativas entre los valores correspondientes a los puntos ubicados aguas o vientos abajo de la instalación con respecto a los puntos blancos considerados. Además, la dosis estimada a partir de dichos valores se encuentra muy por debajo del límite de dosis para el público de 1 mSv/a.

- En el caso de las muestras de agua, cabe señalar que todos los resultados analizados de actividad alfa-beta total resultaron ser menores a los valores guía establecidos por la OMS (0,5 y 1,0 Bq/l, respectivamente).
- El promedio de los niveles de tasa de dosis ambiental medido en la zona resultó igual a 67,1 nGy/h, el cual es consistente con el valor medio de 58 nGy/h informado por UNSCEAR para sitios no influenciados por instalaciones nucleares.

- Los resultados obtenidos para aguas de consumo humano no superan en ningún caso los valores guía de la OMS específicos para esta matriz.

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)

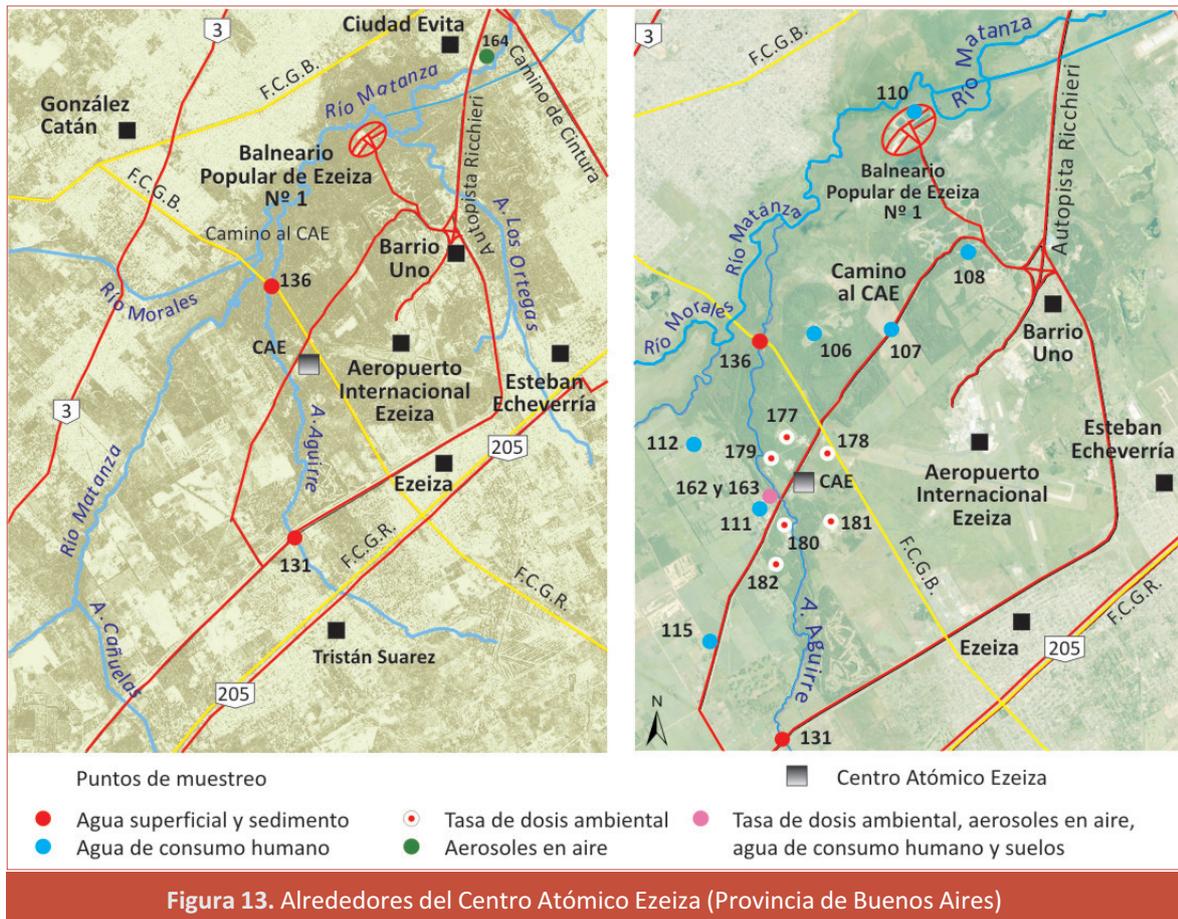
El Centro Atómico Ezeiza (CAE), está ubicado en la localidad de Ezeiza, provincia de Buenos Aires. Las principales instalaciones que componen este centro son: el Reactor RA 3 para Producción de Radioisótopos e Investigación; la Planta de Producción de Radioisótopos para uso médico e industrial; la Fábrica 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 siguiente tabla general muestra el plan de monitoreo radiológico ambiental anual llevado a cabo por la ARN en las inmediaciones del CAE. En la misma se especifica: el tipo de muestra, radionucleido a analizar, frecuencia de muestreo, frecuencia de ensayo y puntos de muestreo.

Tipo de muestra	Radionucleido a analizar (*)	Frecuencia de muestreo	Frecuencia de ensayo	Puntos de muestreo
Vegetales y frutas cosechados en la zona	emisores gamma	Semestral (verduras de hoja, verduras de raíz, otras verduras, frutas)	semestral	CAE173
	estroncio 90			
Suelos	emisores gamma	semestral	semestral	CAE163
Agua superficial del arroyo Aguirre	tritio	mensual	mensual	CAE131; CAE136
	emisores gamma			
	uranio			
Agua de consumo humano	tritio	trimestral	trimestral	CAE106 a CAE108; CAE110 a CAE112; CAE115; CAE162
	uranio	trimestral	trimestral	
	emisores alfa-beta	trimestral	trimestral	
	emisores gamma	trimestral	trimestral	
Sedimentos del arroyo Aguirre	emisores gamma	semestral	semestral	CAE131; CAE136
	uranio			
	estroncio 90			

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

Asimismo, la ubicación de los puntos de muestreo de las distintas matrices analizadas se presentan en los mapas de la Figura 13.



Durante el 2013 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.

Durante el año 2013 se recolectaron 698 muestras efectuándose sobre las mismas diversas determinaciones de los distintos radionucleidos de interés.

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 106						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	0,19 (7,7 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,13	0,30
Máximo (Bq/l)	0,22 (8,6 $\mu$ g/l)	<LD	<LD	<LD	0,26	0,38
Mínimo (Bq/l)	0,14 (5,6 $\mu$ g/l)	na	na	na	<LD	0,11
Nº muestras analizadas	4	4	4	4	4	4
Nº análisis >LD	4	0	0	0	3	4
LD (Bq/l): tritio 8; cesio 0,2; cobalto 0,1; emisores $\alpha$ total 0,04						
Punto CAE 107						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	0,17 (6,6 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,12	0,23
Máximo (Bq/l)	0,22 (8,8 $\mu$ g/l)	<LD	<LD	<LD	0,20	0,29
Mínimo (Bq/l)	0,13 (5,0 $\mu$ g/l)	na	na	na	<LD	0,12
Nº muestras analizadas	4	4	4	4	4	4
Nº análisis >LD	4	0	0	0	3	4
LD (Bq/l): tritio 8; cesio 0,2; cobalto 0,2; emisores $\alpha$ total 0,04						
Punto CAE 108						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	0,19 (7,5 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,14	0,28
Máximo (Bq/l)	0,24 (9,7 $\mu$ g/l)	<LD	<LD	<LD	0,26	0,37
Mínimo (Bq/l)	0,15 (6,0 $\mu$ g/l)	na	na	na	<LD	0,19
Nº muestras analizadas	4	4	4	4	4	4
Nº análisis >LD	4	0	0	0	3	4
LD (Bq/l): tritio 8; cesio 0,2; cobalto 0,1; emisores $\alpha$ total 0,04						
Punto CAE 110						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	0,26 (10,5 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,16	0,52
Máximo (Bq/l)	0,29 (11,7 $\mu$ g/l)	<LD	<LD	<LD	0,26	0,63
Mínimo (Bq/l)	0,22 (8,8 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,05	0,42
Nº muestras analizadas	4	4	4	4	4	4
Nº análisis >LD	4	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 8; cesio 0,2; cobalto 0,1						
Punto CAE 111						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	0,76 (30,3 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,60	0,78
Máximo (Bq/l)	0,80 (32,0 $\mu$ g/l)	<LD	<LD	<LD	0,86	0,86
Mínimo (Bq/l)	0,68 (27,0 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,34	0,66
Nº muestras analizadas	4	4	4	4	4	4
Nº análisis >LD	4	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 8; cesio 0,2; cobalto 0,1						
Punto CAE 112						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	0,20 (7,9 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,12	0,59
Máximo (Bq/l)	0,25 (9,9 $\mu$ g/l)	<LD	<LD	<LD	0,19	0,70
Mínimo (Bq/l)	0,16 (6,5 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,04	0,48
Nº muestras analizadas	4	4	4	4	4	4
Nº análisis >LD	4	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 8; cesio 0,2; cobalto 0,2						

(\*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 0,025 Bq/ $\mu$ g (NPL Report IR6, enero 2008).

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

Concentración de actividad en aguas de consumo humano (continuación)						
Punto CAE 115						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	0,52 (20,7 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,46	0,53
Máximo (Bq/l)	0,70 (28,0 $\mu$ g/l)	<LD	<LD	<LD	0,66	0,62
Mínimo (Bq/l)	0,31 (12,3 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,30	0,43
Nº muestras analizadas	4	4	4	4	4	4
Nº análisis >LD	4	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 8; cesio 0,2; cobalto 0,1						
Punto CAE 162						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	0,43 (17,0 $\mu$ g/l)	<LD	<LD	<LD	0,23	0,62
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	1	1	1	1	1	1
Nº análisis >LD	1	0	0	0	1	1
LD (Bq/l): tritio 8; cesio 0,1; cobalto 0,1						

(\*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 0,025 Bq/ $\mu$ 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	estroncio 90
Promedio (Bq/l)	0,26 (10,4 $\mu$ g/l)	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	0,33 (13,0 $\mu$ g/l)	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	0,20 (8,0 $\mu$ g/l)	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	12	12	12	12	12
Nº análisis >LD	12	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 9; cesio 0,5; cobalto 0,3; estroncio 0,08					
Arroyo Aguirre, aguas abajo del CAE (punto CAE 136)					
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/l)	0,26 (10,4 $\mu$ g/l)	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	0,40 (15,9 $\mu$ g/l)	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	0,07 (2,8 $\mu$ g/l)	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	11	11	11	11	12
Nº análisis >LD	11	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 9; cesio 0,7; cobalto 0,4; estroncio 0,08					

(\*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 0,025 Bq/ $\mu$ g (NPL Report IR6, enero 2008).

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

Concentración de actividad en suelos aledaños al CAE		
Punto CAE 163		
	cesio 137	cobalto 60
Promedio (Bq/kg)	1,05	na
Máximo (Bq/kg)	1,1	<LD
Mínimo (Bq/kg)	1,0	na
Nº muestras analizadas	2	2
Nº análisis >LD	2	0
LD (Bq/kg): cobalto 0,5		

Concentración de actividad en alimentos vegetales de la zona		
Frutas		
	cesio 137	cobalto 60
Promedio (Bq/kg)	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na
Nº muestras analizadas	2	2
Nº análisis >LD	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,005; cobalto 0,008		
Verduras de hoja		
	cesio 137	cobalto 60
Promedio (Bq/kg)	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na
Nº muestras analizadas	2	2
Nº análisis >LD	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,009; cobalto 0,009		
Verduras de raíz		
	cesio 137	cobalto 60
Promedio (Bq/kg)	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na
Nº muestras analizadas	2	2
Nº análisis >LD	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,01; cobalto 0,009		
Otras verduras		
	cesio 137	cobalto 60
Promedio (Bq/kg)	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na
Nº muestras analizadas	2	2
Nº análisis >LD	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,004; cobalto 0,003		

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	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	50 (2,0 µg/g)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	60 (2,4 µg/g)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	40 (1,6 µg/g)	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2	2
Nº análisis >LD	0	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,5; cobalto 0,4; estroncio 1,5				
Arroyo Aguirre, aguas abajo del CAE (punto CAE 136)				
	uranio (*)	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	138 (5,5 µg/g)	2,4	na	na
Máximo (Bq/kg)	200 (8,0 µg/g)	4,5	1,7	<LD
Mínimo (Bq/kg)	72,5 (2,9 µg/g)	0,3	<LD	na
Nº muestras analizadas	2	2	2	2
Nº análisis >LD	2	2	1	0
LD (Bq/kg): cobalto 0,6; estroncio 3,9				

(\*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 0,025 Bq/µg (NPL Report IR6, enero 2008).

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 Nº 831/93 de la Ley Nº 24.051 y Ley Nº 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 monitoreo 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 tasa de dosis ambiental de la zona aledaña al CAB.

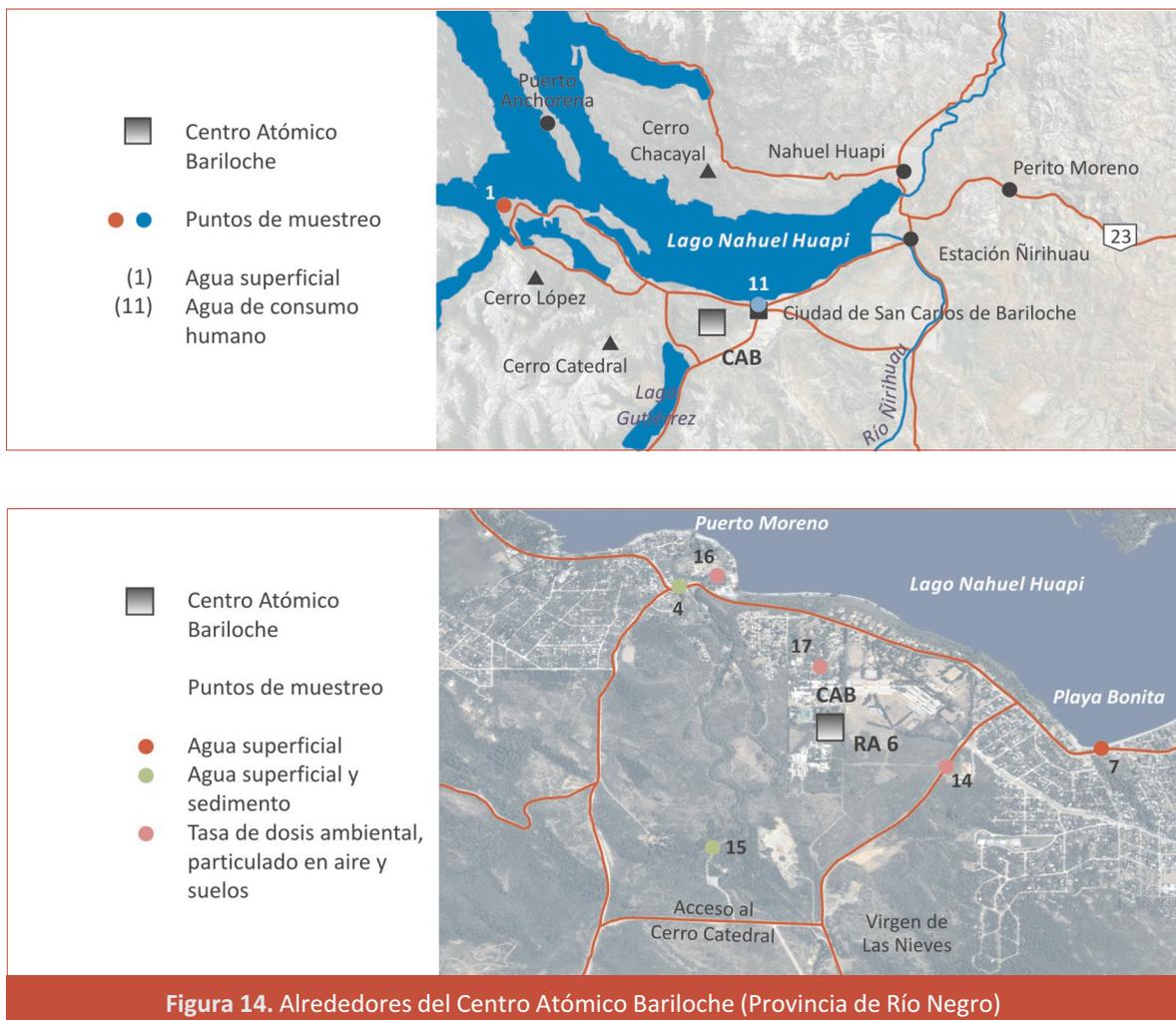
En los mapas de la Figura 14 se presentan los cursos de agua y la ubicación de los puntos de muestreo. Sobre las muestras se realizaron las determinaciones de estroncio 90 y de radionucleidos emisores gamma (cesio 137 y cobalto 60). También se realizó la determinación de tritio en aguas a fin de contar con registros de los niveles de este radionucleido en aguas de la zona.

Durante el año 2013 se recolectaron 35 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	Puntos de muestreo
Agua superficial del arroyo Gutiérrez y del lago Nahuel Huapi)	emisores gamma	trimestral	trimestral	CAB1, CAB4, CAB7, CAB15
	emisores alfa-beta			
Agua de consumo humano	emisores gamma	trimestral	trimestral	CAB11
	emisores alfa-beta			
Sedimento del arroyo Gutiérrez	emisores gamma	anual	anual	CAB4, CAB15
	estroncio 90			
Tasa de dosis ambiental	emisores gamma	continua, con dosímetros (TLD)	anual	CAB14, CAB16, CAB17
Particulado en aire	emisores gamma	continua (muestra integrada de una semana)	anual	CAB14, CAB16, CAB17
Suelos	emisores gamma	anual	anual	CAB14, CAB16, CAB17
	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 y del arroyo Gutiérrez				
Lago Nahuel Huapi - aguas arriba desembocadura arroyo Gutiérrez (punto CAB 1)				
	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	0,09
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	<LD
Nº muestras analizadas	4	4	4	4
Nº análisis >LD	0	0	0	1
LD (Bq/l): cesio 0,1; cobalto 0,1; emisores $\alpha$ total 0,03; emisores $\beta$ total 0,08				
Lago Nahuel Huapi - aguas abajo desembocadura arroyo Gutiérrez (punto CAB 7)				
	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
LD (Bq/l): cesio 0,2; cobalto 0,1; emisores $\alpha$ total 0,03; emisores $\beta$ total 0,08				
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	0,09
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	<LD
Nº muestras analizadas	4	4	4	4
Nº análisis >LD	0	0	0	1
Arroyo Gutiérrez - aguas arriba del CAB (punto CAB 15)				
	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
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 $\alpha$ total 0,03; emisores $\beta$ total 0,08				
Arroyo Gutiérrez - aguas abajo del CAB (punto CAB 4)				
	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
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 $\alpha$ total 0,03; emisores $\beta$ total 0,08				

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
Muestra anual (Bq/kg)	0,8	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cobalto 0,4; estroncio 1,4			
Aguas abajo del CAB (punto CAB 4)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/kg)	0,5	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cobalto 0,2; estroncio 1,5			

LD = mayor límite de detección determinado



Concentración de actividad en suelos aledaños al CAB		
Punto CAB 14		
	cesio 137	cobalto 60
Muestra anual (Bq/kg)	0,3	<LD
LD (Bq/kg): cobalto 0,3		
Punto CAB 16		
	cesio 137	cobalto 60
Muestra anual (Bq/kg)	1,3	<LD
LD (Bq/kg): cobalto 0,3		
Punto CAB 17		
	cesio 137	cobalto 60
Muestra anual (Bq/kg)	1,0	<LD
LD (Bq/kg): cobalto 0,1		

LD = mayor límite de detección determinado

Concentración de actividad en aguas de consumo humano ciudad de San Carlos de Bariloche				
	cesio 137	cobalto 60	emisores $\alpha$ total	emisores $\beta$ total
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 $\alpha$ total 0,03; emisores $\beta$ total 0,08				

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

Tasa de dosis ambiental CAB - nGy/h (promedio anual)		
Vientos abajo del CAB (punto CAB 14)	Vientos arriba del CAB (punto CAB 16)	Punto de interés público (punto CAB 17)
64,9	57,8	65,2

Concentración de actividad en muestras de aerosoles totales en aire ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )			
punto CAB 14			
	cesio 137	cobalto 60	yodo 131
Muestra anual ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )	<LD	<LD	<LD
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 3,4; cobalto 3,4; yodo 3,4			
punto CAB 16			
	cesio 137	cobalto 60	yodo 131
Muestra anual ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )	<LD	<LD	<LD
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 1,3; cobalto 2,0; yodo 2,0			
punto CAB 17			
	cesio 137	cobalto 60	yodo 131
Muestra anual ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )	<LD	<LD	<LD
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 1,5; cobalto 2,2; yodo 2,2			

LD = mayor límite de detección determinado

## Conclusiones

Se detectaron trazas de cesio 137 en algunas muestras de sedimentos y suelos. 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 62,6 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.



Durante 2013 se recolectaron tres muestras de aguas superficiales, una muestra de agua de consumo humano y una muestra de sedimento. Los resultados obtenidos pueden observarse en las siguientes tablas :

Complejo Tecnológico Pilcaniyeu	
Agua del río Pichileufú, aguas abajo de la instalación	
	uranio
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	na
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	3,2
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	na
Nº muestras analizadas	2
Nº análisis >LD	2
Aguas de consumo humano de Pilcaniyeu	
	uranio
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	na
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	3,8
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	na
Nº muestras analizadas	1
Nº análisis >LD	1
Sedimentos del río Puchileufú, aguas abajo de la instalación	
	uranio
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	na
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	<LD
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	na
Nº muestras analizadas	1
Nº análisis >LD	0

LD = mayor límite de detección determinado = 1,8 ( $\mu\text{g/g}$ ); 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 Sierra Pintada - San Rafael

El Complejo minero fabril Sierra Pintada 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 monitoreo 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 Sierra Pintada - San Rafael (Provincia de Mendoza)

Durante 2013 se recolectaron doce muestras de aguas superficiales, una muestra de agua de lago, tres muestras de agua de consumo humano y 9 muestras de sedimentos. Se detallan a continuación los valores obtenidos:

Complejo minero fabril Sierra Pintada - San Rafael			
Aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	na	Promedio (mBq/l)	4,9
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	<LD	Máximo (mBq/l)	8,4
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	na	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	5	Nº muestras analizadas	5
Nº análisis >LD	0	Nº análisis >LD	2
LD ( $\mu\text{g/l}$ ): 5		LD (mBq/l): 4	
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	7,4	Promedio (mBq/l)	4,8
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	9,5	Máximo (mBq/l)	5,8
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	<LD	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	8	Nº muestras analizadas	8
Nº análisis >LD	2	Nº análisis >LD	3
LD ( $\mu\text{g/l}$ ): 5		LD (mBq/l): 3,8	
Aguas de consumo humano en zonas de influencia			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	2,6	Promedio (mBq/l)	8,1
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	3,3	Máximo (mBq/l)	16,7
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	2,0	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	3	Nº muestras analizadas	3
Nº análisis >LD	3	Nº análisis >LD	1
		LD (mBq/l): 3,8	
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	1,5	Promedio (mBq/g)	37,2
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	2,8	Máximo (mBq/g)	48,1
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	<LD	Mínimo (mBq/g)	<LD
Nº muestras analizadas	5	Nº muestras analizadas	5
Nº análisis >LD	4	Nº análisis >LD	4
LD ( $\mu\text{g/g}$ ): 0,5		LD (mBq/g): 16,2	
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	1,9	Promedio (mBq/g)	26,2
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	2,8	Máximo (mBq/g)	43,8
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	0,9	Mínimo (mBq/g)	<LD
Nº muestras analizadas	4	Nº muestras analizadas	4
Nº análisis >LD	4	Nº análisis >LD	2
		LD (mBq/g): 17,1	

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

A continuación se presentan los datos de concentración de radón medidos en viviendas próximas a la instalación.

Concentración de gas radón en viviendas aledañas al Complejo minero fabril San Rafael	
	radón 222
Promedio ( $\text{Bq/m}^3$ )	13,6
Máximo ( $\text{Bq/m}^3$ )	24,8
Mínimo ( $\text{Bq/m}^3$ )	<LD
Nº muestras analizadas	10
Nº análisis >LD	9
Medición integrada de aprox. 5 meses; LD = $4,3 \text{ Bq/m}^3$	

LD = mayor límite de detección determinado

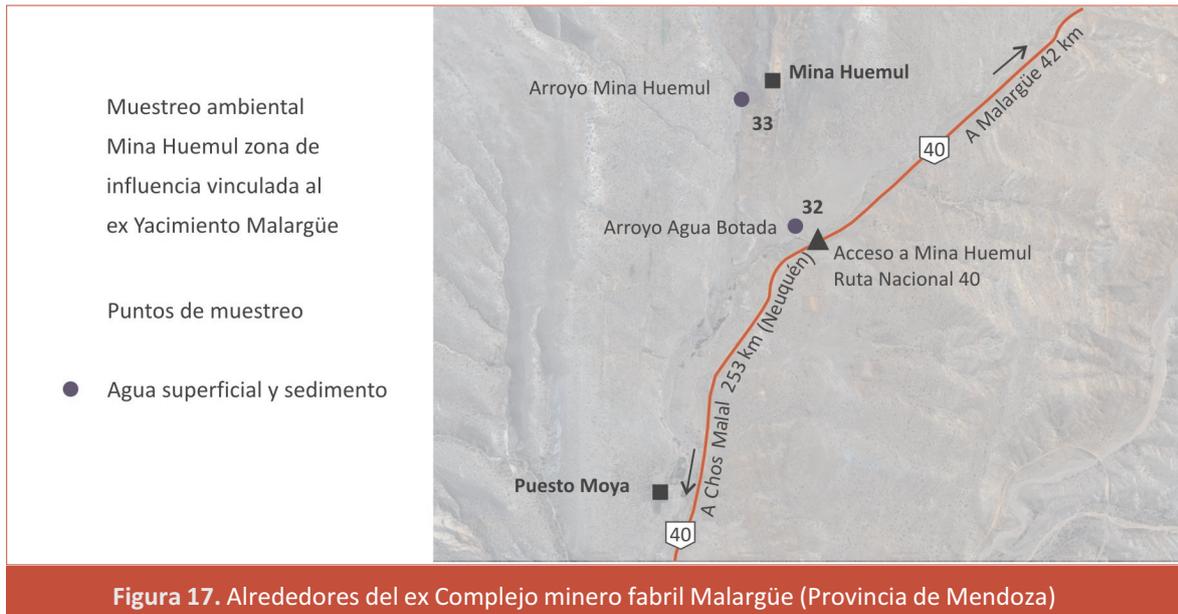
## Ex Complejo minero fabril Malargüe

El ex Complejo minero 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 monitoreo 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 mapas de Figura 17.





Durante el año 2013 se recolectaron trece 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 minero fabril Malargüe			
Aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	<LD	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	na	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	4	Nº muestras analizadas	4
Nº análisis >LD	0	Nº análisis >LD	0
LD (µg/l): 7		LD (mBq/l): 4	
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	22,3	Promedio (mBq/l)	4,2
Máximo (µg/l)	93,6	Máximo (mBq/l)	5,0
Mínimo (µg/l)	<LD	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	6	Nº muestras analizadas	6
Nº análisis >LD	3	Nº análisis >LD	1
LD (µg/l): 7		LD (mBq/l): 4	
Aguas subterráneas de la zona de influencia			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	8,5	Promedio (mBq/l)	4,7
Máximo (µg/l)	17,0	Máximo (mBq/l)	8,4
Mínimo (µg/l)	<LD	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	7	Nº muestras analizadas	7
Nº análisis >LD	2	Nº análisis >LD	1
LD (µg/l): 7		LD (mBq/l): 3,9	
Agua de consumo humano de la ciudad de Malargüe			
uranio (µg/l)		radio 226 (mBq/l)	
1,4		<LD	
		LD (mBq/l): 3,7	

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

Ex Complejo minero fabril Malargüe			
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	1,7	Promedio (mBq/g)	30,0
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	2,7	Máximo (mBq/g)	39,3
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	0,9	Mínimo (mBq/g)	<LD
Nº muestras analizadas	3	Nº muestras analizadas	3
Nº análisis >LD	3	Nº análisis >LD	2
LD (mBq/g): 18,4			
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	1,9	Promedio (mBq/g)	20,7
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	4,1	Máximo (mBq/g)	24,8
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	0,9	Mínimo (mBq/g)	<LD
Nº muestras analizadas	6	Nº muestras analizadas	6
Nº análisis >LD	6	Nº análisis >LD	3
LD (mBq/g): 18,1			

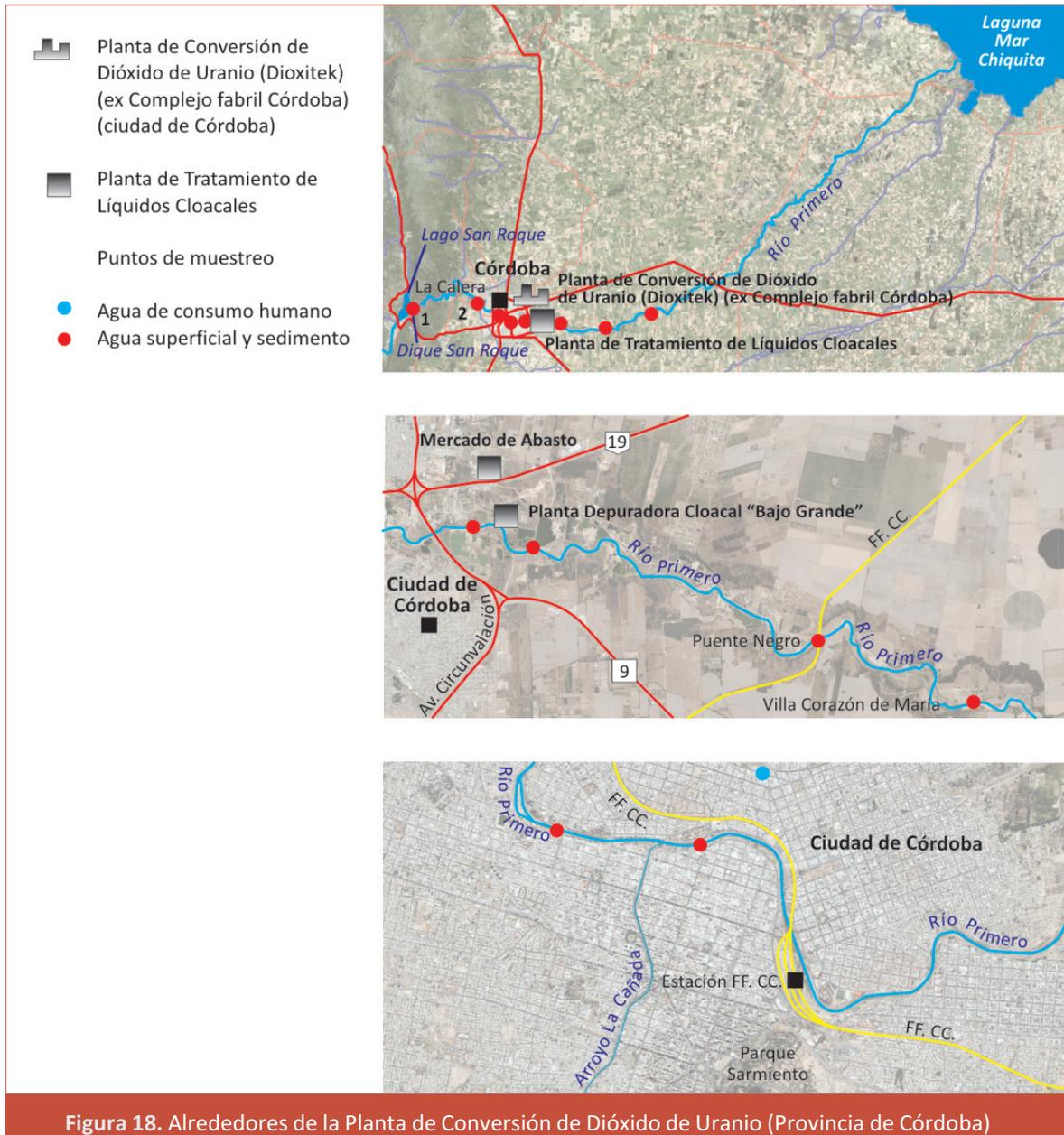
LD = mayor límite de detección determinado

Concentración de gas radón en viviendas aledañas al ex Complejo minero fabril Malargüe	
	radón 222
Promedio ( $\text{Bq/m}^3$ )	42,3
Máximo ( $\text{Bq/m}^3$ )	164
Mínimo ( $\text{Bq/m}^3$ )	11,3
Nº muestras analizadas	11
Nº análisis >LD	11
Medición integrada de aprox. 4 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 monitoreo 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 los mapas de la Figura 18. Se toma además una muestra del agua de consumo humano de la ciudad de Córdoba.



Durante el año 2013 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 ( $\mu\text{g/l}$ )	5,9	Promedio (mBq/l)	na
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	12,8	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	<LD	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	5	Nº muestras analizadas	5
Nº análisis >LD	3	Nº análisis >LD	0
LD ( $\mu\text{g/l}$ ): 3		LD (mBq/l): 3,3	
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	9,7	Promedio (mBq/l)	na
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	11,9	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	5,9	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	3	Nº muestras analizadas	3
Nº análisis >LD	3	Nº análisis >LD	0
		LD (mBq/l): 3,3	
Aguas de consumo humano de la ciudad de Córdoba			
uranio ( $\mu\text{g/l}$ )	radio 226 (mBq/l)		
<LD	4,7		
LD ( $\mu\text{g/l}$ ): 0,5			
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	2,0	Promedio (mBq/g)	25,5
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	2,7	Máximo (mBq/g)	35,6
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	<LD	Mínimo (mBq/g)	15,5
Nº muestras analizadas	2	Nº muestras analizadas	2
Nº análisis >LD	1	Nº análisis >LD	2
LD ( $\mu\text{g/g}$ ): 1,4			
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	3,9	Promedio (mBq/g)	44
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	5,2	Máximo (mBq/g)	55
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	2,6	Mínimo (mBq/g)	33
Nº muestras analizadas	2	Nº muestras analizadas	2
Nº análisis >LD	2	Nº análisis >LD	2

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

Concentración de gas radón en viviendas aledañas a la Planta de Conversión de Dióxido de Uranio (Dioxitek) (ex Complejo fabril Córdoba)	
	radón 222
Promedio ( $\text{Bq/m}^3$ )	92,1
Máximo ( $\text{Bq/m}^3$ )	233
Mínimo ( $\text{Bq/m}^3$ )	17,9
Nº muestras analizadas	8
Nº análisis >LD	8
Medición integrada de aprox. 5 meses	

## 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 monitoreo 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.

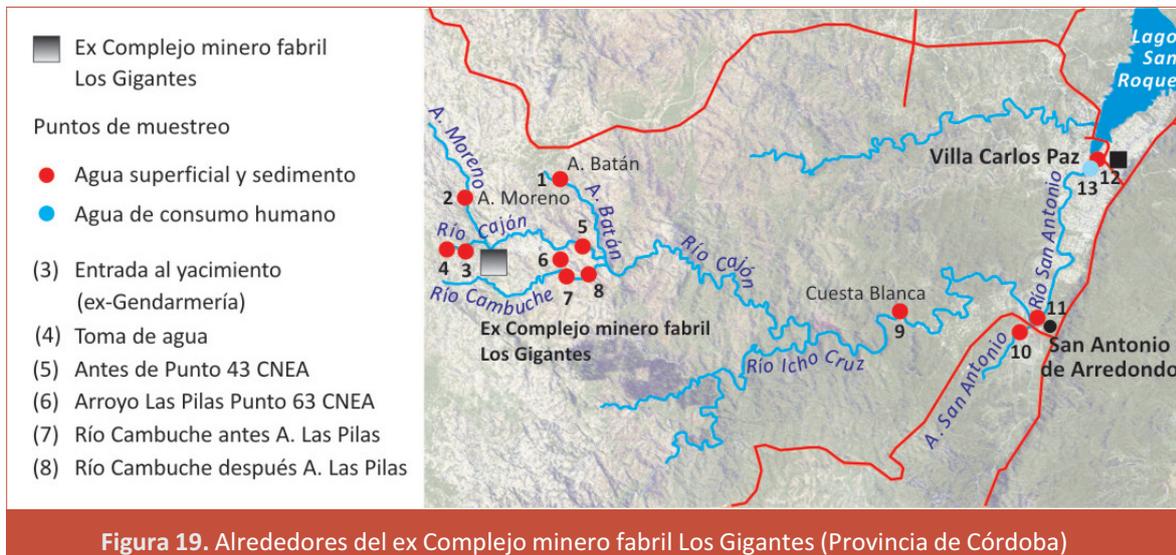


Figura 19. Alrededores del ex Complejo minero fabril Los Gigantes (Provincia de Córdoba)

En 2013 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 ( $\mu\text{g/l}$ )	na	Promedio (mBq/l)	4,8
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	<LD	Máximo (mBq/l)	10,7
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	na	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	6	Nº muestras analizadas	6
Nº análisis >LD	0	Nº análisis >LD	1
LD ( $\mu\text{g/l}$ ): 3		LD (mBq/l): 3,6	
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	na	Promedio (mBq/l)	8,5
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	<LD	Máximo (mBq/l)	23,7
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	na	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	6	Nº muestras analizadas	6
Nº análisis >LD	0	Nº análisis >LD	2
LD ( $\mu\text{g/l}$ ): 3		LD (mBq/l): 3,6	
Aguas de consumo humano de Villa Carlos Paz			
	uranio ( $\mu\text{g/l}$ )		radio 226 (mBq/l)
	2,1		<LD
			LD (mBq/l): 3,2
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	6,7	Promedio (mBq/g)	90,0
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	8,5	Máximo (mBq/g)	123,8
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	3,7	Mínimo (mBq/g)	62,4
Nº muestras analizadas	4	Nº muestras analizadas	4
Nº análisis >LD	4	Nº análisis >LD	4
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	11,5	Promedio (mBq/g)	131,9
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	23,2	Máximo (mBq/g)	321,2
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	3,6	Mínimo (mBq/g)	23,6
Nº muestras analizadas	5	Nº muestras analizadas	5
Nº análisis >LD	5	Nº análisis >LD	5

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

Concentración de gas radón en viviendas aledañas al ex Complejo minero fabril Los Gigantes	
	radón 222
Promedio ( $\text{Bq/m}^3$ )	33,4
Máximo ( $\text{Bq/m}^3$ )	38,4
Mínimo ( $\text{Bq/m}^3$ )	27,2
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 operó desde el año 1982 hasta el año 1991, está ubicado en el Departamento Chacabuco, en la provincia de San Luis. Está emplazado sobre la margen este de la ruta provincial N° 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, respectivamente, y prácticamente está cerrado en el sur por las sierras de la Estanzuela, Tilisarao, Naschel, del Carrizal y San Felipe.

El monitoreo 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.

En el año 2013 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 ( $\mu\text{g/l}$ )	3,2	Promedio (mBq/l)	na
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	3,5	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	<LD	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	3	Nº muestras analizadas	3
Nº análisis >LD	2	Nº análisis >LD	0
LD ( $\mu\text{g/l}$ ): 3		LD (mBq/l): 3,3	
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	22,6	Promedio (mBq/l)	6,4
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	48,9	Máximo (mBq/l)	9,9
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	6,5	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	4	Nº muestras analizadas	4
Nº análisis >LD	4	Nº análisis >LD	2
LD (mBq/l): 3,2			
Aguas subterráneas del Valle de Conlara			
uranio ( $\mu\text{g/l}$ )		radio 226 (mBq/l)	
22,6		3,6	
Aguas de consumo humano del Valle de Conlara			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	8,7	Promedio (mBq/l)	5,0
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	21	Máximo (mBq/l)	8,9
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	0,8	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	4	Nº muestras analizadas	4
Nº análisis >LD	4	Nº análisis >LD	2
LD (mBq/l): 3,3			
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	8,4	Promedio (mBq/g)	177,2
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	10,3	Máximo (mBq/g)	281,7
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	7,1	Mínimo (mBq/g)	123,0
Nº muestras analizadas	3	Nº muestras analizadas	3
Nº análisis >LD	3	Nº análisis >LD	3
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	9,3	Promedio (mBq/g)	338,6
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	13,1	Máximo (mBq/g)	648,4
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	3,2	Mínimo (mBq/g)	61,0
Nº muestras analizadas	3	Nº muestras analizadas	3
Nº análisis >LD	3	Nº análisis >LD	3

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

Concentración de gas radón en viviendas aledañas al ex Complejo minero fabril La Estela	
	radón 222
Promedio ( $\text{Bq/m}^3$ )	68,5
Máximo ( $\text{Bq/m}^3$ )	120,4
Mínimo ( $\text{Bq/m}^3$ )	43,1
Nº muestras analizadas	4
Nº análisis >LD	4
Medición integrada de aprox. 5 meses	

## 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 21.



Figura 21. Alrededores del ex Complejo minero fabril Pichiñán - Los Adobes (Provincia de Chubut)

Durante el año 2013 se tomaron veintiún muestras de aguas superficiales, una muestra de agua de mar, cuatro muestras de aguas de consumo humano y quince muestras de sedimentos.

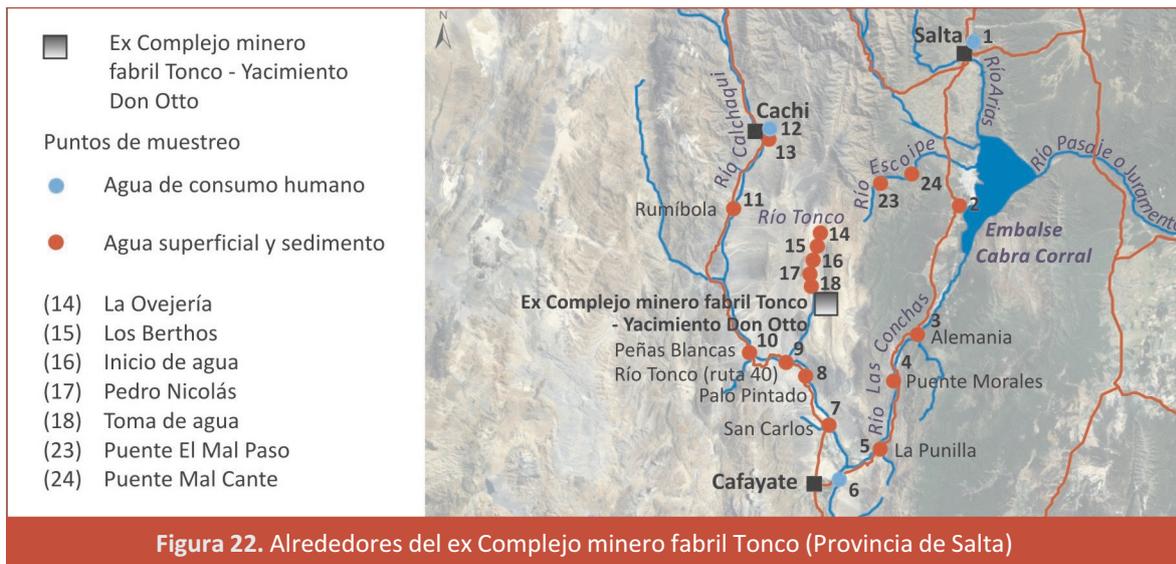
Se detallan a continuación los valores obtenidos:

Ex Complejo minero fabril Pichiñán - Los Adobes			
Aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	7,4	Promedio (mBq/l)	2,6
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	7,6	Máximo (mBq/l)	3,3
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	<LD	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	10	Nº muestras analizadas	10
Nº análisis >LD	1	Nº análisis >LD	2
LD ( $\mu\text{g/l}$ ): 7,2		LD (mBq/l): 2,5	
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	7,9	Promedio (mBq/l)	na
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	8,5	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	<LD	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	11	Nº muestras analizadas	11
Nº análisis >LD	1	Nº análisis >LD	0
LD ( $\mu\text{g/l}$ ): 7,2		LD (mBq/l): 2,7	
Agua de mar (Bahía Engaño - Playa Unión - Rawson - Chubut)			
	uranio ( $\mu\text{g/l}$ )		radio 226 (mBq/l)
	3,0		<LD
			LD (mBq/l): 2,6
Aguas de consumo humano en zonas de influencia			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	2,0	Promedio (mBq/l)	na
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	2,8	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	1,1	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	4	Nº muestras analizadas	4
Nº análisis >LD	4	Nº análisis >LD	0
		LD (mBq/l): 2,5	
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	1,5	Promedio (mBq/g)	87,7
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	1,9	Máximo (mBq/g)	394,8
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	<LD	Mínimo (mBq/g)	<LD
Nº muestras analizadas	8	Nº muestras analizadas	8
Nº análisis >LD	1	Nº análisis >LD	6
LD ( $\mu\text{g/g}$ ): 1,4		LD (mBq/g): 14,2	
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	1,93	Promedio (mBq/g)	34,3
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	3,2	Máximo (mBq/g)	54,3
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	<LD	Mínimo (mBq/g)	22,0
Nº muestras analizadas	7	Nº muestras analizadas	7
Nº análisis >LD	4	Nº análisis >LD	7
LD ( $\mu\text{g/g}$ ): 1,9			

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 22, 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.



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 2013 se tomaron dieciocho muestras de aguas superficiales, una muestra de agua de lago, tres muestras de aguas de consumo humano y veintiún muestras de sedimentos.

Se detallan a continuación los valores obtenidos:

Ex Complejo minero fabril Tonco			
Aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	15,8	Promedio (mBq/l)	4,2
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	47,4	Máximo (mBq/l)	5,5
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	<LD	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	7	Nº muestras analizadas	7
Nº análisis >LD	2	Nº análisis >LD	3
LD ( $\mu\text{g/l}$ ): 9		LD (mBq/l): 3,7	
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	na	Promedio (mBq/l)	4,4
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	<LD	Máximo (mBq/l)	5,1
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	na	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	6	Nº muestras analizadas	6
Nº análisis >LD	0	Nº análisis >LD	5
LD ( $\mu\text{g/l}$ ): 9		LD (mBq/l): 3,5	
Aguas de consumo humano en zona de influencia Salta-Cafayate-Cachi			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	4,7	Promedio (mBq/l)	5,4
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	12,1	Máximo (mBq/l)	9,3
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	<LD	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	3	Nº muestras analizadas	3
Nº análisis >LD	2	Nº análisis >LD	1
LD ( $\mu\text{g/l}$ ): 0,5		LD (mBq/l): 3,4	
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	1,4	Promedio (mBq/g)	25,1
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	2,8	Máximo (mBq/g)	36,0
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	0,9	Mínimo (mBq/g)	15,0
Nº muestras analizadas	9	Nº muestras analizadas	9
Nº análisis >LD	6	Nº análisis >LD	9
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	1,7	Promedio (mBq/g)	26,2
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	2,8	Máximo (mBq/g)	30,6
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	1,2	Mínimo (mBq/g)	<LD
Nº muestras analizadas	7	Nº muestras analizadas	7
Nº análisis >LD	7	Nº análisis >LD	6
		LD (mBq/g): 11,5	

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

Concentración de gas radón en viviendas aledañas al ex Complejo minero fabril Tonco	
	radón 222
Promedio ( $\text{Bq/m}^3$ )	31,7
Máximo ( $\text{Bq/m}^3$ )	45,6
Mínimo ( $\text{Bq/m}^3$ )	17,8
Nº muestras analizadas	2
Nº análisis >LD	2
Medición integrada de aprox. 5 meses	



## 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.

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.



Figura 23. Alrededores del ex Complejo minero fabril Los Colorados (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 2013 se tomaron tres muestras de aguas superficiales, dos 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 ( $\mu\text{g/l}$ )	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	<LD	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	na	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	2	Nº muestras analizadas	2
Nº análisis >LD	0	Nº análisis >LD	0
LD ( $\mu\text{g/l}$ ): 9		LD (mBq/l): 3,8	
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	<LD	Máximo (mBq/l)	15,2
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	na	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	1
Nº análisis >LD	1	Nº análisis >LD	1
LD ( $\mu\text{g/g}$ ): 9			
Aguas de consumo humano de Patquía			
uranio ( $\mu\text{g/l}$ )		radio 226 (mBq/l)	
2,3		<LD	
		LD(mBq/l): 3,8	
Agua termal de la zona de influencia			
uranio ( $\mu\text{g/l}$ )		radio 226 (mBq/l)	
<LD		50	
LD ( $\mu\text{g/l}$ ): 0,5			
Aguas subterráneas			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	na	Promedio (mBq/l)	106,2
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	<LD	Máximo (mBq/l)	209
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	na	Mínimo (mBq/l)	3,4
Nº muestras analizadas	3	Nº muestras analizadas	2
Nº análisis >LD	0	Nº análisis >LD	1
LD ( $\mu\text{g/l}$ ): 9			
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	1,48	Promedio (mBq/g)	35,5
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	1,55	Máximo (mBq/g)	38,0
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	1,40	Mínimo (mBq/g)	32,9
Nº muestras analizadas	2	Nº muestras analizadas	2
Nº análisis >LD	2	Nº análisis >LD	2
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	na	Promedio (mBq/g)	na
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	2	Máximo (mBq/g)	26,8
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	na	Mínimo (mBq/g)	na
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	1
Nº análisis >LD	1	Nº análisis >LD	1

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 16/08/1996, 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 resultados mínimos y máximos medidos de ambos radionucleidos naturales (radio 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
Rango de valores UNSCEAR	1000	1000
Rango de valores medidos	770	884

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>).

### Monitoraje ambiental no relacionado con las instalaciones nucleares

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. 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	Puntos de muestreo
Tasa de dosis ambiental	emisores gamma	continua, con dosímetros (TLD)	anual	BAS1
Condensado de humedad	tritio	continua	semanal	BAS1
Particulado en aire	emisores gamma	continua	pool trimestral	BAS1
	estroncio 90			
	uranio			
Agua del Río de la Plata	emisores gamma	semestral	semestral	BAS7
	tritio			
	emisores alfa-beta			
Leche	emisores gamma	semestral	semestral	BAS2
	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	BAS3
	estroncio 90			
	tritio			
Depósito húmedo	emisores gamma	continua	trimestral	BAS1
	estroncio 90			

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

Con respecto al muestreo de aerosoles, el equipo muestreador se encuentra ubicado en la Sede Central de la ARN, sita en Avenida del Libertador N° 8250, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

En el plan de monitoreo efectuado durante el año 2013 se recolectaron 126 muestras y se efectuaron sobre las mismas diversos tipos de análisis y determinaciones radioquímicas de los distintos radionucleidos de interés.

Los valores de concentración 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	
42,7	

Concentración de actividad en muestras de condensados de humedad de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires	
	tritio
Promedio (Bq/m <sup>3</sup> )	na
Máximo (Bq/m <sup>3</sup> )	0,2
Mínimo (Bq/m <sup>3</sup> )	<LD
Nº muestras analizadas	50
Nº análisis >LD	4
LD (Bq/m <sup>3</sup> ): tritio 0,1	

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

Concentración de actividad en muestras de aerosoles totales en aire de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires				
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	uranio (*)
Promedio (µBq/m <sup>3</sup> )	na	na	na	51,4
Máximo (µBq/m <sup>3</sup> )	<LD	<LD	<LD	180
Mínimo (µBq/m <sup>3</sup> )	na	na	na	<LD
Nº muestras analizadas	4	4	4	4
Nº análisis >LD	0	0	0	1
LD (µBq/m <sup>3</sup> ): cesio 0,6; cobalto 0,4; estroncio 6,1; uranio 11,6				

(\*) 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 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 0,2; 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	yodo 131
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2	2	2
Nº análisis >LD	0	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 7; cesio 0,006; cobalto 0,01; estroncio 0,05; yodo 0,2					

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 7; cesio 0,02; cobalto 0,005; estroncio 0,04				
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 7; cesio 0,01; cobalto 0,01; estroncio 0,04				
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 0,15				
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	2	2	2	
Nº análisis >LD	0	0	0	
LD (Bq/kg): cesio 0,006; cobalto 0,008; estroncio 0,08				

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

Se observan trazas de tritio en muestras puntuales de condensado de humedad.

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 42,7 nGy/h, el cual es consistente con el valor medio de 58 nGy/h informado por UNSCEAR para sitios no influenciados por instalaciones nucleares.

### Actividades científico técnicas de apoyo a la regulación

La ARN desarrolla a través de la Gerencia de Apoyo Científico Técnico (GACT) tareas científico-técnicas asociadas a la función regulatoria de la institución. 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 asociadas 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 pacientes en el caso de nuevas terapias metabólicas con diferentes radiofármacos en el ámbito de medicina nuclear.
- Dosimetría biológica.
- Evaluación de blindajes.
- Evaluaciones de seguridad radiológica para la prevención de accidentes de criticidad.
- Evaluaciones de sistemas de ventilación.
- Medición de radón en ambientes laborales y en viviendas.
- Asesoramiento médico en radioprotección a partir de evaluaciones dosimétricas y radiobiológicas.
- Evaluaciones en radiopatología: aplicación de indicadores diagnósticos y pronósticos en situaciones de sobreexposición accidental, marcadores de radiosensibilidad de tejidos normales y neoplásicos y estudios de opacidad radioinducida.

## Evaluaciones de seguridad radiológica en la gestión de residuos radiactivos y combustibles gastados

La ARN como parte de las tareas desarrolladas en la GACT realiza evaluaciones para el control de la seguridad radiológica en relación con la gestión de residuos radiactivos y de combustibles gastados, con el objetivo de garantizar que los trabajadores, el público y el medio ambiente estén adecuadamente protegidos.

Dentro de las tareas desarrolladas se realizan evaluaciones de seguridad asociadas a la gestión de residuos radiactivos generados en las centrales de Atucha y de Embalse, de prácticas asociadas a la extensión de vida de la Central Nuclear Embalse y de Informes de Seguridad de la Unidad II de la Central Nuclear Atucha y del Proyecto CAREM. Entre otros aspectos se verifica el cumplimiento con criterios de seguridad de instalaciones destinadas al almacenamiento de residuos radiactivos. Se participa en la revisión y elaboración de normativas específicas al sector.

Asimismo se realizan evaluaciones tendientes a la aplicación de niveles de exención de registro para usos o prácticas que involucran pequeñas cantidades de material radiactivo. Además, se realizan evaluaciones de dispensa, junto con el otorgamiento de las autorizaciones correspondientes, para optimizar la gestión de residuos radiactivos.

## Evaluaciones de seguridad radiológica en diferentes escenarios de exposición

La GACT efectúa evaluaciones para el control de la seguridad radiológica en distintos escenarios de exposición, en instalaciones y prácticas autorizadas u otros escenarios, con la finalidad de garantizar la adecuada protección de los trabajadores, el público y el medio ambiente.

Con este fin, se realizan cálculos de blindajes, evaluaciones de seguridad radiológica para la prevención de accidentes de criticidad, evaluaciones de sistemas de ventilación, análisis de difusión y dispersión de contaminantes en el ambiente.

La fiscalización del impacto radiológico ambiental producto de la operación de las instalaciones se realiza principalmente a través del control de las descargas al medio ambiente, complementándolo con el programa de monitoreo radiológico ambiental.

Durante la operación normal de la mayoría de las Instalaciones Clase I, se generan efluentes radiactivos que son descargados al ambiente en forma controlada y planificada. Los operadores realizan las mediciones de las descargas y envían esa información a la ARN. Esta información es auditada y verificada en forma independiente. Para realizar esta actividad, la ARN cuenta con laboratorios pro-

pios y personal especializado, tanto en la toma de muestras como en el proceso posterior de medición y evaluación.

Durante el año 2013, se han destacado las evaluaciones de seguridad radiológica vinculadas a los proyectos de Atucha II, el reactor CAREM así como numerosas memorias de cálculo para instalaciones menores.

### Laboratorios de la ARN

En el Centro Atómico Ezeiza, la ARN dispone de aproximadamente 2000 m<sup>2</sup> de laboratorios instalados dedicados a: dosimetría física (dosimetría termoluminiscente 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, fil-



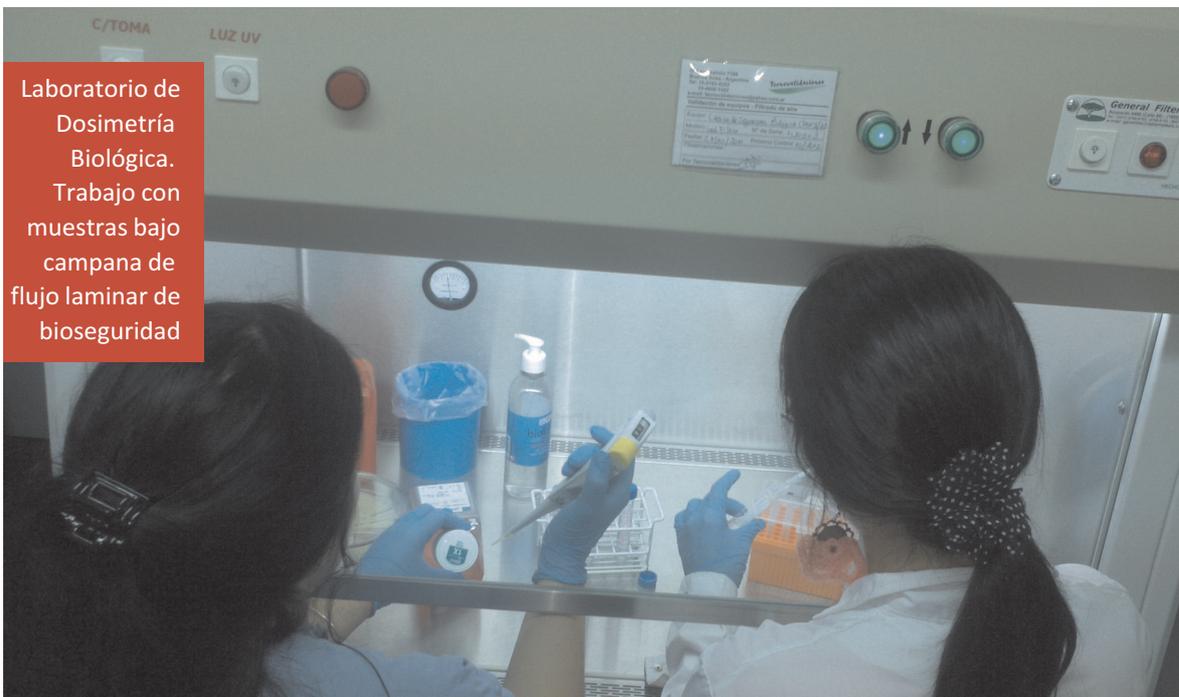
Laboratorio de Análisis de Radio 226 en muestras ambientales. Traslado del precipitado para centrifugación, correspondiente a muestras líquidas

tros 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.

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. Asimismo, el laboratorio forma parte de la red de dosimetría biológica (BioDoseNet) de la OMS y lidera la red Latinoamericana de Dosimetría Biológica.

Durante el año 2013 la GACT de la ARN ha realizado más de 11 000 determinaciones entre calibraciones, mediciones y evaluaciones.

### Accreditación de laboratorios

En marzo se realizó satisfactoriamente la evaluación de mantenimiento de la acreditación de los dos laboratorios de ensayo de la ARN, Control Ambiental (LE 116) y Dosimetría Biológica (LE 147) ya acreditados ante el Organismo Argentino de Acreditación (OAA) -miembro de ILAC- conforme a la norma internacional IRAM 301 (ISO/IEC 17025-2005). Además se obtuvo la reacreditación del laboratorio de Calibraciones (LC 029) y se cumplió con el objetivo de acreditar el cuarto laboratorio (LE 193) de Dosimetría Interna:

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	--	15-2-2011	5-2-2015
	Agua	Determinación de uranio en agua por fluorimetría	Determinación de uranio en agua por fluorimetría (P-FLUO-03)	Validación de métodos de ensayo para la determinación de uranio en agua por fluorimetría	15-2-2011	5-2-2015
	Agua	Determinación de trazas de uranio con equipo analizador de fosforescencia cinética - KPA (por su sigla en inglés)	Norma ASTM D-5174	--	15-2-2011	5-2-2015
	Agua	Determinación de tritio en agua por centelleo líquido	Determinación de tritio en agua (P-TRIT-04)	Informe de validación de la técnica para la determinación de tritio en aguas	15-2-2011	5-2-2015

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	25-2-2010	24-2-2014

MAGNITUD: Respuesta para equivalente de dosis ambiental (H*), kerma en aire (Ka), exposición (X), equivalente de dosis de fotones (Hx), equivalente de dosis personal (Hp), dosis absorbida (D) y sus derivadas respecto a tiempo				
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 equivalente de dosis ambiental 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 campos de radiación (I-CAL-01) basado en IAEA SRS N° 16

MAGNITUD: Factor de calibración para la emisividad superficial y la 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 5.486 keV	Incertidumbre total expandida (k=2) porcentual=11%	Calibración de equipos de medición de contaminación superficial (I-CAL-02), basado en IAEA SRS N° 16

Laboratorio	Material/ producto	Ensayo	Norma / Procedimiento interno	Acreditado	
				Desde	Hasta
Laboratorio de Dosimetría Interna de la ARN (LE 193)	In vivo sobre tiroides humana	Determinación de actividad de yodo <sup>131</sup> en tiroides	Determinación de actividad de yodo <sup>131</sup> en tiroides I-CTC-01	25-4-2013	24-4-2017

El alcance de las acreditaciones, responsables técnicos y vigencia de la acreditación estarán disponibles y continuamente actualizadas en la página web institucional del Organismo Argentino de Acreditación (OAA).

A los efectos del aseguramiento de 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), Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA); REAC/TS ORAU Biodosimetry Laboratory. Estas intercomparaciones involucran a los 4 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.

Por otra parte se continúa trabajando en la implementación de otras técnicas de determinación con el fin de extender el alcance de la acreditación del Laborato-



rio de Control Ambiental de la ARN, obtener una nueva acreditación para el Laboratorio de Dosimetría Física, la técnica de determinación del equivalente de dosis personal por termoluminiscencia (TLD, por su sigla en inglés) y por otra parte acreditar el Laboratorio de Dosimetría Biológica como proveedor de Ensayos de Aptitud conforme a los criterios contenidos en la Norma ISO/IEC 17043:2010 y los correspondientes criterios generales del Organismo Argentino de Acreditación (OAA).

Durante el corriente año se certificó bajo la norma ISO 9001:2008 el proceso relativo al seguimiento de la documentación entrante y saliente de la Gerencia Apoyo Científico Técnico. Este alcance comprende, Informes de Evaluaciones de Seguridad Radiológica (ventilación, blindajes, criticidad, residuos radiactivos, descargas, dosis, impacto ambiental), además de Informes de Ensayo y Certificados de Calibración que emiten todos los laboratorios de la GACT.