



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

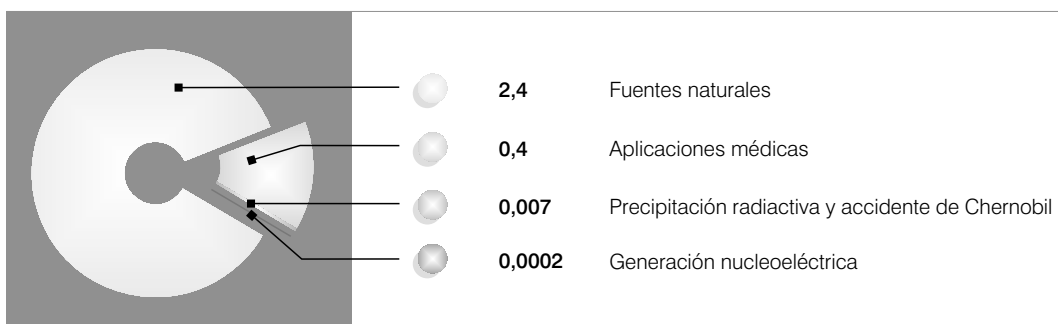
La humanidad ha evolucionado en un ambiente naturalmente radiactivo. La Tierra es bombardeada por rayos cósmicos del espacio, y toda la materia contiene algunos rastros de sustancias radiactivas.

Las personas están expuestas a la radiación externa, suma de la radiación cósmica y de la radiación emitida por los radionucleidos naturales existentes en la corteza terrestre, y a la irradiación interna, debida a aquellos radionucleidos naturales incorporados a los alimentos, a las bebidas y presentes en el aire inhalado. La dosis media anual debida a todas estas fuentes combinadas es alrededor de 2,4 mSv, con grandes variaciones alrededor de ese valor.

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

En la **Figura 9** pueden observarse las diferentes contribuciones a la dosis efectiva media anual debida a fuentes naturales y artificiales de radiación, promediada en la población mundial (Fuente: UNSCEAR 2000).

Figura 9. Dosis efectiva media anual (mSv)



MONITOREAJE AMBIENTAL

La ARN realiza monitoreaje ambiental en los alrededores de las siguientes instalaciones existentes en el país:

Centrales nucleares Atucha I y Embalse.

Centro Atómico Ezeiza.

Centro Atómico Bariloche.



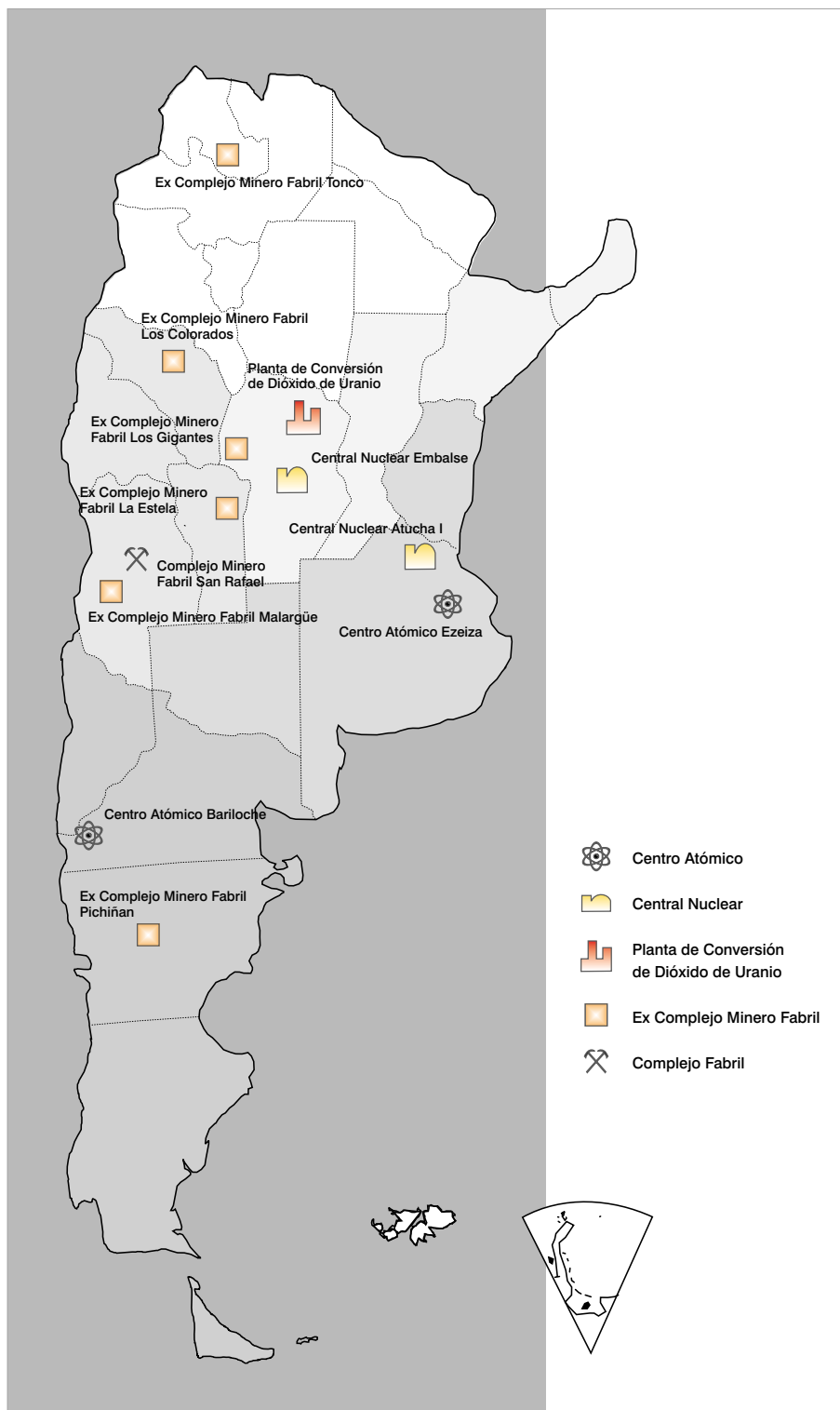
Complejo minero fabril San Rafael.

Planta de conversión de dióxido de uranio.

Ex Complejos minero fabriles Malargüe, Pichiñán, Los Gigantes, La Estela, Tonco y Los Colorados.

La ubicación geográfica de las instalaciones monitoreadas se indica en la **Figura 10**.

Figura 10. Instalaciones bajo control ambiental



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

MONITORAJE AMBIENTAL ALREDEDOR DE INSTALACIONES NUCLEARES

Central Nuclear Atucha I

La central nuclear Atucha I (CNA I) está ubicada sobre el río Paraná de las Palmas, a 7 km de la ciudad de Lima, en el partido de Zárate, provincia de Buenos Aires.

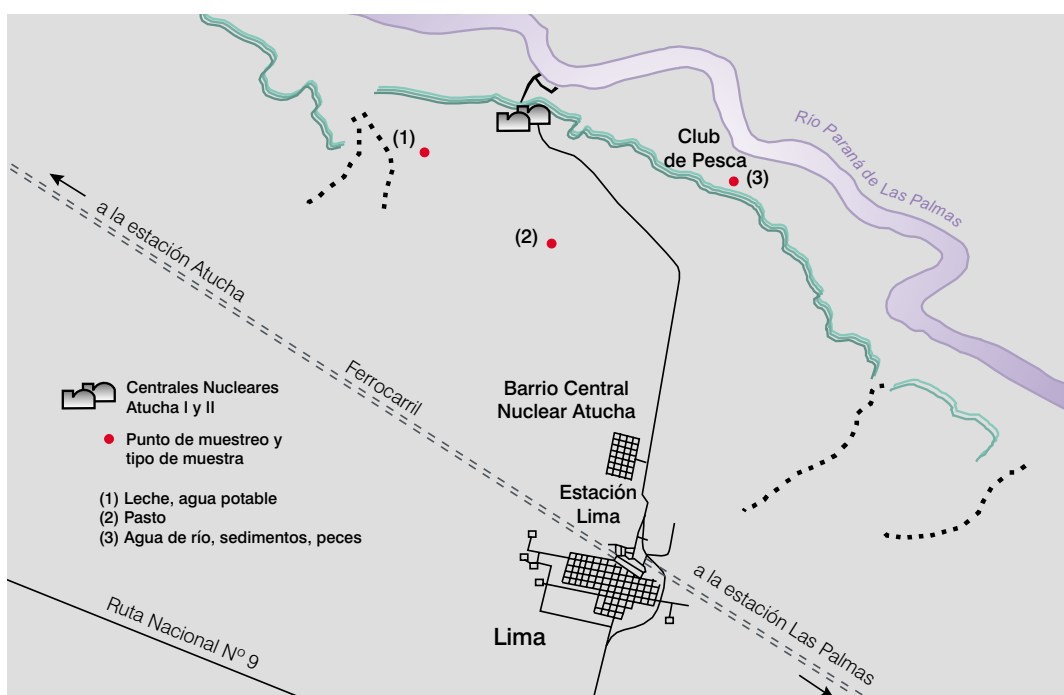
En la **Figura 11** se presenta la ubicación de los puntos de muestreo rutinario ambiental en los alrededores de la CNA I.

Se toman muestras representativas de los diferentes compartimientos de la matriz ambiental de transferencia de radionucleidos. Para evaluar el impacto ambiental de las descargas líquidas, se toman y analizan muestras de agua de río, sedimentos y peces. Adicionalmente, se realiza el monitoreo del agua potable extraída de pozos cercanos a la central.

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas a la atmósfera, se toman y analizan muestras de alimentos producidos en la zona, tales como leche y vegetales. El pasto se analiza como indicador del depósito de material radiactivo.

Se toman aproximadamente 100 muestras por trimestre en los diferentes puntos de muestreo, sobre las que se realizan determinaciones y análisis radioquímicos que permiten medir la concentración de actividad en: agua, peces y sedimentos del río Paraná, en agua potable y en alimentos, leche y pasto de la zona.

Figura 11. Alrededores de la Central Nuclear Atucha I

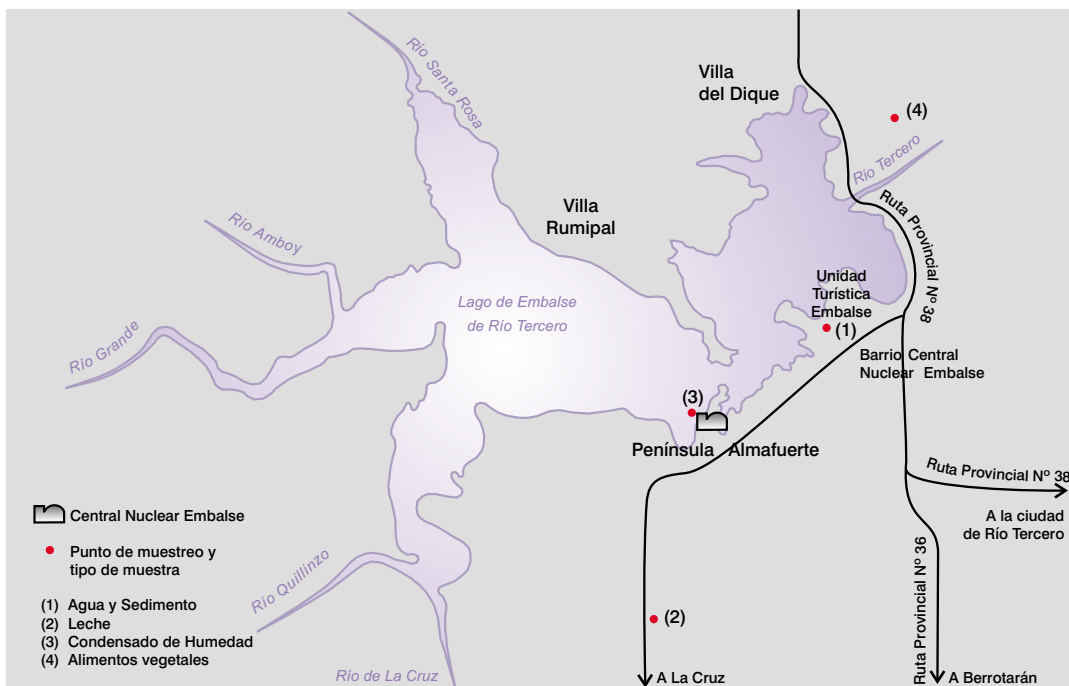


Central Nuclear Embalse

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

En la **Figura 12** se presenta la ubicación de los puntos de muestreo ambiental en los alrededores de la CNE. Como se mencionó en el caso de la CNA I, en los alrededores de la CNE se toman muestras representativas de los diferentes compartimientos de la matriz ambiental de transferencia de radionucleidos.

Figura 12. Alrededores de la Central Nuclear Embalse



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

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

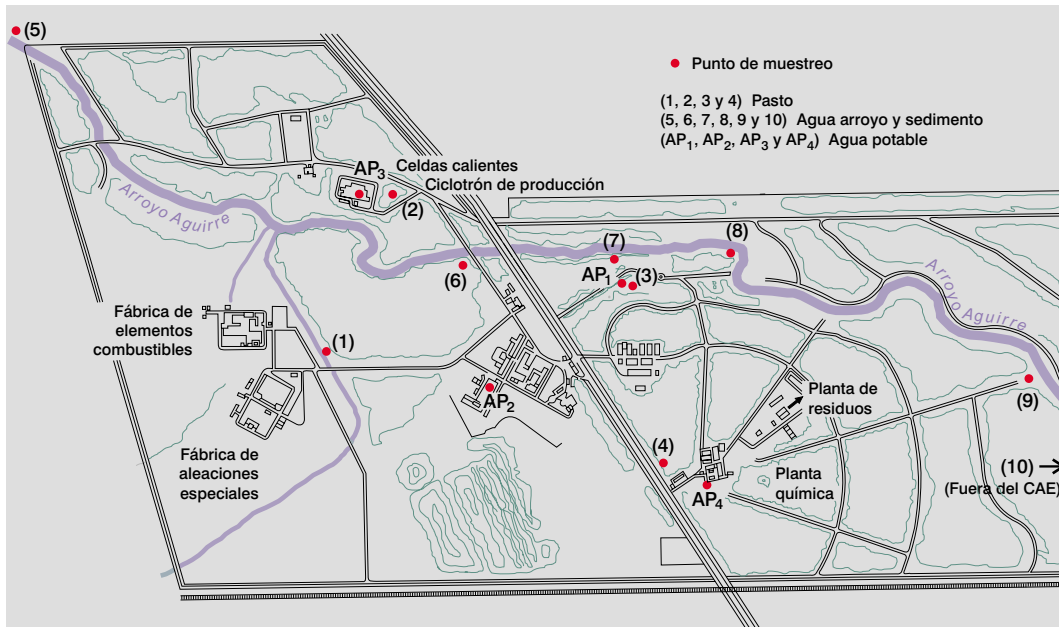
En el caso de las centrales nucleares los radionucleidos analizados en las muestras recolectadas son, principalmente, los productos de fisión (cesio 137, estroncio 90, yodo 131) y de activación (tritio y cobalto 60), debido a su importancia radiológica.

Centro Atómico Ezeiza

El centro atómico Ezeiza de la CNEA, está ubicado en la localidad de Ezeiza, provincia de Buenos Aires. Las principales instalaciones que componen este centro son: el Reactor de producción de radioisótopos RA3; la Planta de producción de radioisótopos para uso médico e industrial; la Fábrica de fuentes encapsuladas de cobalto 60; la Planta de producción de molibdeno 99 por fisión; el área de gestión de residuos radiactivos de baja actividad y la Fábrica de elementos combustibles nucleares (CONUAR S.A.).

La **Figura 13** muestra la ubicación de los puntos en los que se realiza el muestreo correspondiente al control ambiental en los alrededores del centro atómico Ezeiza.

Figura 13. Alrededores del Centro Atómico Ezeiza



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



Muestreo ambiental en el Arroyo Aguirre

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas gaseosas, se toman y analizan muestras de aire, con una frecuencia semanal, midiéndose la presencia de aerosoles radiactivos. Para determinar el depósito de material radiactivo, se toman muestras de agua de lluvia y de pasto. Además, se recolectan y analizan muestras de alimentos vegetales, provenientes de quintas vecinas, en dirección sudoeste. Las muestras de leche son recolectadas de un tambo de la zona, ubicado a 3 km del centro, en dirección oeste, determinándose los niveles de cesio 137 y estroncio 90. Las muestras de pasto son obtenidas de diferentes puntos, distantes a menos de 3 km del centro (punto 1, 2, 3 y 4, figura 13).





Para evaluar el impacto ambiental de las descargas líquidas, se toman y analizan muestras de agua potable del centro atómico y agua y sedimentos del arroyo Aguirre.

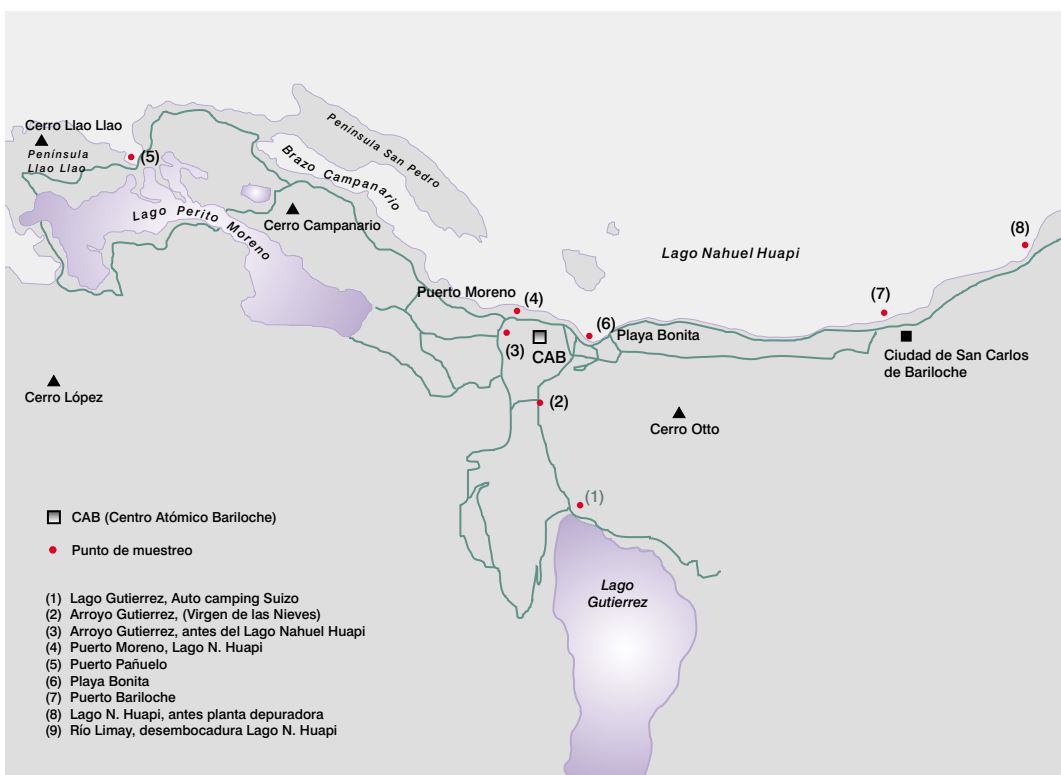
Centro Atómico Bariloche

El centro atómico Bariloche de la CNEA, se halla ubicado en la ciudad homónima en la provincia de Río Negro, junto al lago Nahuel Huapi.

Las principales instalaciones que componen este centro son: el reactor de investigación RA 6, el acelerador lineal de partículas LINAC y diferentes instalaciones de investigación y desarrollo. Además, en el mismo centro, se dictan las carreras de Licenciatura en Física Nuclear e Ingeniería Nuclear.

En la **Figura 14** se muestra la ubicación de los puntos en los que se realiza el muestreo ambiental de este centro atómico.

Figura 14. Alrededores del Centro Atómico Bariloche



El muestreo ambiental asociado al CAB se lleva a cabo trimestralmente sobre muestras de aguas y sedimentos de distintos puntos del Arroyo Gutierrez 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 potable de la ciudad de San Carlos de Bariloche. En la Figura 14 se presentan los cursos de agua y la ubicación de los puntos de muestreo.

Complejos minero fabriles de uranio

La ARN lleva a cabo monitorajes ambientales periódicos, en los alrededores de los complejos minero fabriles, en operación y cerrados, asociados a la explotación y procesamiento del mineral de uranio.

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

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

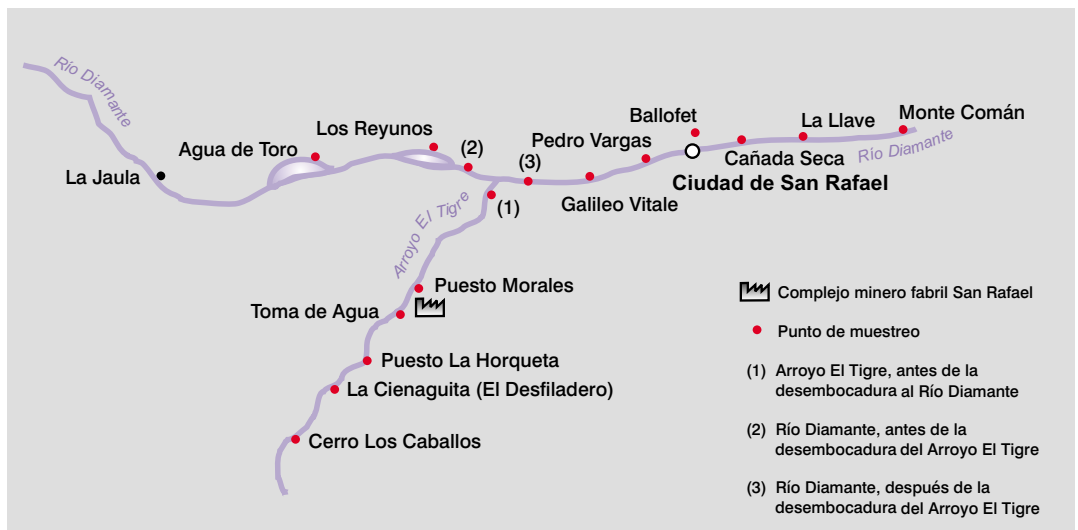
Dado que las vías críticas de llegada al hombre son la ingestión de agua y la inhalación, se llevan a cabo las determinaciones de la concentración de uranio natural y de la actividad de radio 226 en muestras de agua y de la tasa de emanación del gas radón en las escombreras de mineral de uranio, ya que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

Complejo minero fabril SAN RAFAEL

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

El muestreo ambiental asociado a la operación de la instalación se lleva a cabo sobre el arroyo Tigre y el río Diamante, efectuándose la toma de muestras de aguas y sedimentos, aguas arriba y abajo de la instalación. En la **Figura 15** se presentan los cursos de agua y la ubicación de los puntos de muestreo.

Figura 15. Alrededores del complejo minero fabril San Rafael



Ex complejo fabril MALARGÜE

El ex complejo fabril Malargüe se encuentra ubicado en el sur de la provincia de Mendoza, aproximadamente a 1km del centro de la ciudad de Malargüe. Comenzó su operación en 1954 finalizando la misma en 1986. Procesó, en un principio, mineral de uranio procedente de los yacimientos “Huemul” y “Agua Botada”, ubicados a 40 km al sur de la localidad de Malargüe, y posteriormente mineral procedente de San Rafael.

Figura 16. Alrededores del ex complejo minero fabril Malargüe



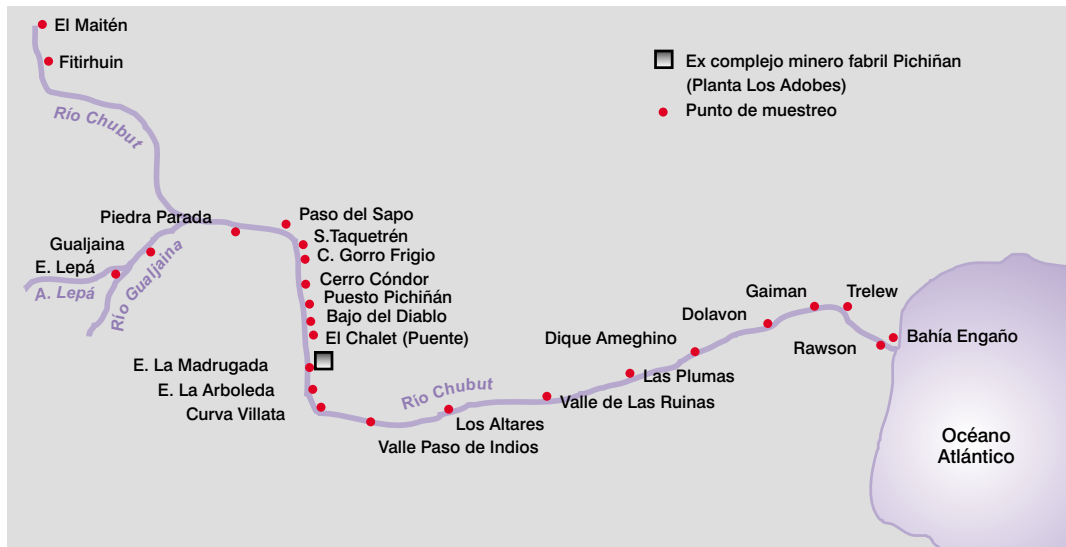
El muestreo ambiental se lleva a cabo fundamentalmente en aguas de napa freática, dado que se encuentra muy alta y aflora en varios puntos en los alrededores de la instalación. Las muestras son recolectadas en distintos puntos aguas abajo en el sentido de escurrimiento de la napa hasta su afloramiento definitivo en la laguna Llacanelo. Paralelamente se toman muestras de aguas superficiales y sedimentos sobre el río Malargüe, el arroyo Mocho, el arroyo El Chacay y otros, que llevan sus aguas hasta la laguna (ver **Figura 16**). También, se determina la tasa de emanación de radón en las escombreras de mineral de uranio.

Ex complejo minero fabril PICHÍÑÁN

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

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

Figura 17. Alrededores del ex complejo minero fabril Pichiñán



El muestreo correspondiente a esta instalación se lleva a cabo a lo largo del río Chubut, prácticamente desde su nacimiento hasta su desembocadura en el océano Atlántico, como se indica en la **Figura 17**.

Complejo fabril CÓRDOBA

El complejo fabril Córdoba está ubicado en la ciudad de Córdoba, en la zona conocida como Alta Córdoba, y fue creado con el objeto de determinar la posibilidad de obtención, en escala industrial, de concentrados de uranio. A partir de 1982, se iniciaron las operaciones de las líneas de purificación y conversión del concentrado de uranio proveniente de los diferentes complejos mineros fabriles.

El muestreo para evaluar el impacto ambiental debido a la operación de esta instalación, se basa en la toma de muestras de aguas superficiales y sedimentos sobre el río Primero, aguas arriba y abajo de la instalación como puede observarse en la **Figura 18**.

Figura 18. Alrededores del complejo fabril Córdoba



Ex complejo minero fabril LOS GIGANTES

El ex complejo minero fabril Los Gigantes se encuentra ubicado en la provincia de Córdoba, en el Cerro Los Gigantes, al sudoeste de la denominada Pampa de San Luis, en el Departamento de Cruz del Eje.

Figura 19. Alrededores del ex complejo minero fabril Los Gigantes





El muestreo ambiental asociado a la instalación se basa, fundamentalmente, en la recolección de muestras de aguas superficiales y sedimentos sobre el curso de los ríos Cajón y Cambuche. Complementariamente, se muestrean los cursos de agua asociados a estos ríos, como los arroyos Vata y Moreno, y los ríos Icho Cruz y San Antonio.

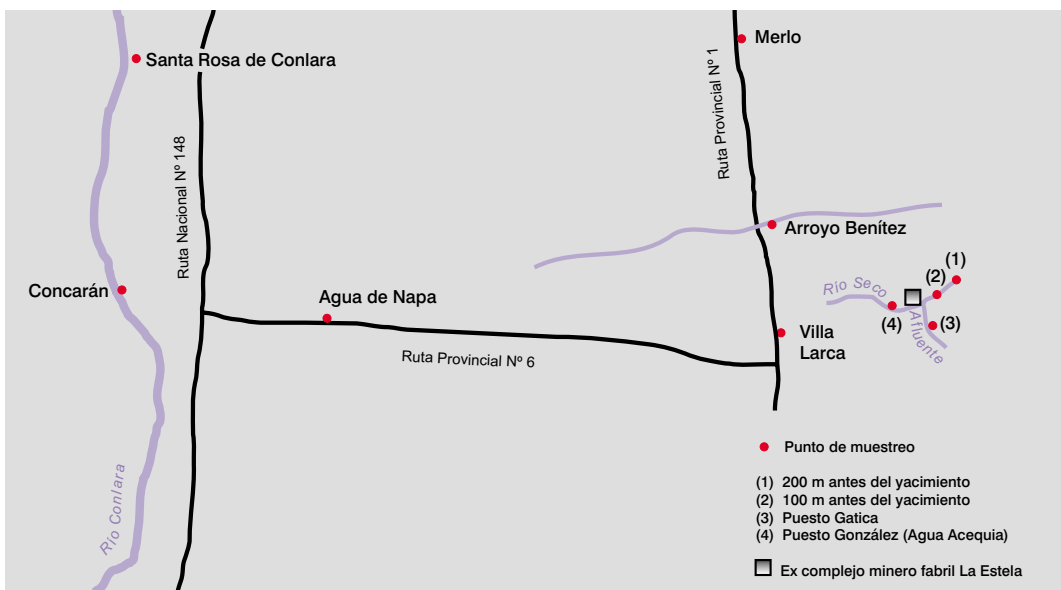
En la **Figura 19** se muestran los alrededores del ex complejo minero fabril Los Gigantes, indicándose los puntos de muestreo.

Ex complejo minero fabril LA ESTELA

El ex complejo minero fabril La Estela, ubicado en el Departamento Chacabuco, provincia de San Luis, operó desde 1982 hasta 1991. Está emplazado sobre el costado este de la ruta provincial Nº 1, a 500 m hacia el norte de Villa Larca y a 30 km al sur de Merlo.

Por razones topográficas y requerimientos de áreas aptas, la planta de tratamiento de mineral está ubicada a 3000 m en línea recta del sector de mina. El yacimiento La Estela está ubicado, como se indica en la **Figura 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.

Figura 20. Alrededores del ex complejo minero fabril La Estela



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

Ex complejo minero fabril LOS COLORADOS

El ex complejo minero fabril Los Colorados, cuya actividad se desarrolló entre 1993 y 1996, está ubicado en el Departamento Independencia, provincia de La Rioja. La planta de trituración de mineral, lixiviación y concentración de uranio está ubicada cerca del yacimiento, en un predio de 90 hectáreas, que corresponden a la concesión de la mina Los Colorados otorgada por la Dirección de Minería de la Provincia de La Rioja.

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

Ex complejo minero fabril TONCO

El ex complejo minero fabril Tonco comenzó su actividad en abril de 1964, finalizando la misma en 1981. Está ubicado en el Departamento San Carlos, provincia de Salta, a unos 150 km al sudoeste de la ciudad capital, como se indica en la **Figura 21**. La instalación operó, fundamentalmente, con mineral proveniente del yacimiento Don Otto y, en menor escala con mineral de los yacimientos Los Berthos, Pedro Nicolás y M. M. de Güemes. El monitoreaje ambiental se basa, fundamentalmente, en la recolección de muestras de aguas superficiales y sedimentos. Debido a las características climatológicas de la zona los cursos de agua en gran parte del año se encuentran secos, hecho por el cual el muestreo se ve limitado.

Figura 21. Alrededores del ex complejo minero fabril Tonco



MONITOREAJE AMBIENTAL NO RELACIONADO CON LAS INSTALACIONES NUCLEARES

Fuentes artificiales

Con el propósito de estudiar la precipitación radiactiva presente, debido a los ensayo de armas nucleares en la atmósfera realizados en el pasado, se realizan muestreos fuera de la zona de influencia de las instalaciones nucleares. Se determinan las concentraciones de radionucleidos de interés en muestras de aire, leche, dieta y alimentos varios. Las muestras de frutas y verduras de diferentes especies son adquiridas en el Mercado Central de Buenos Aires. Se analizan, también, los distintos componentes de una dieta promedio semanal, cuya provisión es adquirida de diferentes bocas de expendio de Buenos Aires, siendo, por lo tanto, representativa de una dieta estándar del Gran Buenos Aires.

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



Fuentes naturales: medición de radón en viviendas

La fuente de radiación de origen natural que más contribuye a la dosis efectiva es el gas radón. El UNSCEAR ha estimado que el radón y los radionucleidos resultantes de su desintegración contribuyen, aproximadamente, a la mitad de la dosis efectiva recibida por el hombre debida a fuentes naturales. La mayor parte de la dosis debida al radón, especialmente en ambientes cerrados, proviene de los radionucleidos resultantes de su desintegración.

El radón fluye del suelo en todas partes de la Tierra, pero sus niveles en el ambiente varían mucho de un lugar a otro. Las concentraciones de radón en el interior de los edificios son, en promedio, 8 veces superiores a las existentes en el exterior. Si bien los materiales de construcción contienen elementos radiactivos naturales y suelen ser fuentes de emanación de radón, el terreno en el que se asientan las viviendas es casi siempre la fuente más importante. En países de clima frío, como en el caso de Suecia y Finlandia, donde las viviendas se mantienen cerradas la mayor parte del año y con un mínimo intercambio de aire con el exterior, la concentración de radón supera los 800 Bq/m³. Debido a su importancia radiológica, surgió la necesidad de conocer los valores de concentración de radón en viviendas de diferentes ciudades de nuestro país, de manera de poder estimar la exposición de la población. La ARN ha distribuido aproximadamente 500 monitores para la medición del gas radón, en diversas ciudades de Argentina, indicados en la tabla siguiente.

Concentración de radón en viviendas

Lugar de muestreo

Corrientes (Corrientes)	Mendoza (Mendoza)
San Luis (San Luis)	Rosario (Santa Fe)
General Alvear (Mendoza)	Río Hondo y Frías (Santiago del Estero)
Malargüe (Mendoza)	Bariloche (Río Negro)
San Rafael (Mendoza)	Esquel, Gastre, Puerto Madryn, Trelew y Rawson (Chubut)
Capital Federal y Gran Buenos Aires	Cosquín (Córdoba)
Córdoba (Córdoba)	Santiago del Estero (Santiago del Estero)
Resistencia (Chaco)	