



CAPÍTULO 7
**VIGILANCIA RADIOLÓGICA
OCUPACIONAL Y DEL PÚBLICO**

CRITERIOS BÁSICOS DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA
DOSIS OCUPACIONALES
DESCARGAS DE MATERIAL RADIACTIVO AL AMBIENTE
DOSIS EN EL PÚBLICO
VIGILANCIA AMBIENTAL

CAPÍTULO 7

VIGILANCIA RADIOLÓGICA OCUPACIONAL Y DEL PÚBLICO

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

La Argentina ha sido uno de los primeros países en incorporar a su normativa las Recomendaciones del año 1990 de la ICRP contenidas en su publicación N° 60, las cuales proponen medidas más exigentes para garantizar una mejor protección de los trabajadores y del ambiente.

CRITERIOS BÁSICOS DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA

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

JUSTIFICACIÓN DE LA PRÁCTICA

El principio de justificación establece que toda tarea que implique o pueda implicar exposición de personas a las radiaciones ionizantes, sólo estará justificada si tal exposición origina un beneficio neto positivo para la sociedad. El principio se aplica no solo en el caso de las nuevas prácticas, sino también en aquellas prácticas existentes que deban ser revisadas a la luz de nueva información que se pudiera disponer sobre ellas como consecuencia del continuo progreso científico-tecnológico.

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

OPTIMIZACIÓN DE LA PROTECCIÓN

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

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

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

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

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

LÍMITES Y RESTRICCIONES DE DOSIS

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

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

Límites y restricciones de dosis para los trabajadores

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

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

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

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

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

Límites y restricciones de dosis para el público

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

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

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

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

Para cumplir con estas restricciones de dosis, la Autoridad Regulatoria Nuclear fija restricciones para las descargas y establece que la operación de las instalaciones debe planificarse de modo tal que las dosis resulten tan bajas como sea razonablemente alcanzable. Por lo tanto, el control de la exposición de la población, en situaciones normales, se realiza mediante la aplicación de controles sobre la fuente, más que sobre el ambiente.

DESCARGAS AL AMBIENTE

Sólo una muy pequeña fracción de la actividad contenida en una instalación radiactiva o nuclear es descargada al ambiente con los efluentes gaseosos y líquidos.

El cumplimiento de las restricciones de descarga implica que la dosis en el grupo crítico no excederá la dosis establecida para cada fuente de exposición en particular. El cumplimiento de la restricción es una condición necesaria pero no suficiente; además, se requiere reducir las dosis tanto como sea razonable.

Cuando existe la probabilidad de que sean varios los radionucleidos descargados al ambiente por una instalación, se considera que se cumple con las restricciones anuales de descarga si se verifica la siguiente expresión:

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

donde A_i es la actividad del nucleido "i" descargada al ambiente en el año, y K_i es la restricción anual para la descarga del nucleido "i".

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

En las secciones siguientes se presenta información básica para evaluar el comportamiento de los sistemas de protección radiológica de las instalaciones relevantes, como lo constituyen las dosis individuales recibidas por los trabajadores, las descargas de material radiactivo al ambiente durante la operación de dichas instalaciones, las dosis resultantes en la población y la información correspondiente al monitoreo ambiental que la ARN realiza en los alrededores de instalaciones radiactivas y nucleares, y en zonas fuera del ámbito de dichas instalaciones.

DOSIS OCUPACIONALES

La ARN recibe regularmente información relativa a las dosis de los trabajadores de instalaciones relevantes, la cual le permite verificar el cumplimiento de los límites de dosis y disponer de información para conocer tendencias, identificar las desfavorables efectuando las consecuentes correcciones, y realizar comparaciones entre diferentes prácticas con radiaciones ionizantes.

La ARN dispone un sistema de bases de datos con la información correspondiente a la exposición ocupacional de unos 10 000 trabajadores, registrados desde el año 1967. La base de datos con las dosis se actualiza periódicamente, aplicándose mecanismos de control de la calidad de los datos para disminuir el ingreso de información incorrecta en el sistema.

En este capítulo se presentan las dosis de los trabajadores de las instalaciones relevantes que por licencia de operación deben informar las mismas a la ARN, y las dosis del personal de la ARN.

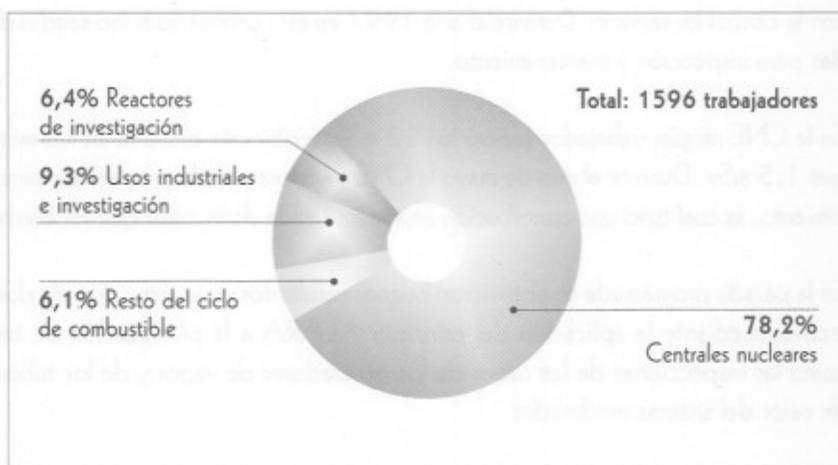
Las dosis, informadas por las instalaciones, corresponden a mediciones individuales de exposición a la radiación externa, realizadas con dosímetros termoluminiscentes y estimaciones de dosis debidas a

contaminación interna a partir del análisis de muestras de orina y mediciones realizadas en contador de cuerpo entero. Las dosis menores que los límites de detección fueron consideradas cero.

La **Figura 1** muestra la distribución de los trabajadores según correspondan a centrales nucleares, reactores de investigación y conjuntos críticos, usos industriales e investigación, e instalaciones y laboratorios asociados al ciclo de combustible nuclear. En el grupo correspondiente a usos industriales e investigación se han incluido los aceleradores de partículas, las plantas de irradiación con altas dosis y las plantas de producción de radioisótopos.

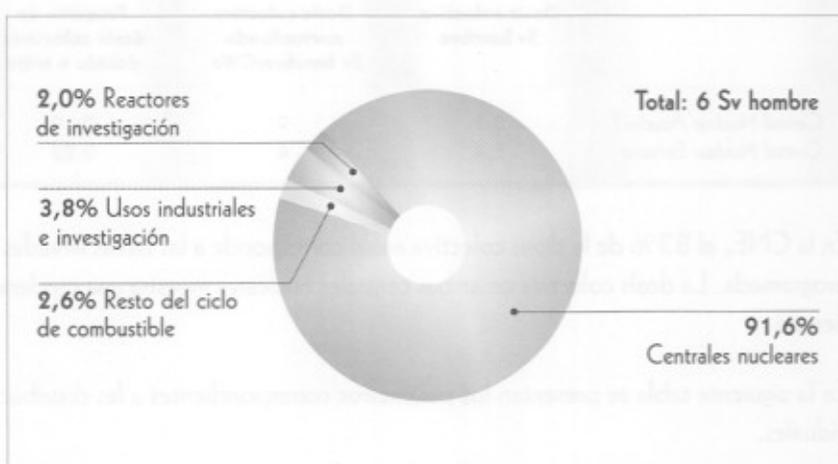
El número total de trabajadores disminuyó en un 15% con respecto al valor registrado en el año 1996 debido a la disminución en el número de trabajadores contratados por las centrales nucleares para trabajar en la parada programada para mantenimiento preventivo y correctivo.

Figura 1
Distribución de trabajadores controlados en instalaciones relevantes



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

Figura 2
Distribución de dosis colectiva en instalaciones relevantes



La dosis colectiva total representa aproximadamente el 50% del valor correspondiente al año 1996. Esta variación refleja la disminución registrada en la dosis colectiva de las centrales nucleares.

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

CENTRALES NUCLEARES

Las **Figuras 4 y 5** presentan las distribuciones de dosis individuales recibidas por los trabajadores de las centrales nucleares Atucha I y Embalse respectivamente, durante el año 1997.

En la **Figura 4** puede observarse que ningún trabajador superó los 50 mSv y el 92% de ellos recibió dosis individuales anuales menores que 20 mSv. Ocho trabajadores recibieron más de 25 mSv, alcanzando la dosis más alta el valor de 39 mSv. En la dosis de este trabajador tuvo una importante contribución la exposición recibida durante una intervención realizada en los generadores de vapor con la central en servicio. Durante el año 1997 en esta central no hubo salidas de servicio programadas para inspección y mantenimiento.

En la CNE ningún trabajador superó los 20 mSv, recibiendo el 50% de los mismos una dosis menor que 1,5 mSv. Durante el mes de mayo la CNE tuvo una parada programada para inspección y mantenimiento, la cual tuvo una contribución importante en la dosis anual que recibieron los trabajadores.

En la parada programada se obtuvieron buenos resultados en la reducción de dosis individuales y colectivas mediante la aplicación del principio ALARA a la planificación de tareas relevantes tales como las inspecciones de los tubos de los generadores de vapor y de los tubos del intercambiador de calor del sistema moderador.

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

	Dosis colectiva Sv hombre	Dosis colectiva normalizada Sv hombre/GWa	Fracción de dosis colectivas debida a tritio	Energía bruta generada GWa
Central Nuclear Atucha I	3,1	9	0,19	0,331
Central Nuclear Embalse	2,4	4	0,22	0,578

En la CNE, el 83% de la dosis colectiva anual corresponde a las tareas llevadas a cabo en la parada programada. La dosis colectiva en ambas centrales nucleares muestra una tendencia decreciente en el tiempo.

En la siguiente tabla se presentan los parámetros correspondientes a las distribuciones de dosis individuales.

	Dosis promedio mSv	Dosis individual máxima mSv	Número de trabajadores
Central Nuclear Atucha I	6	39	471
Central Nuclear Embalse	3	19	777

Figura 3
Dosis promedio individual

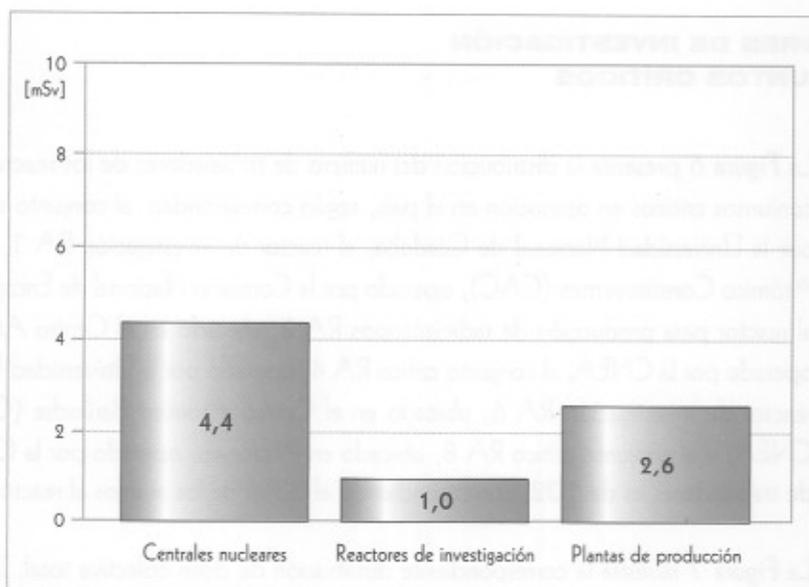


Figura 4
Central Nuclear
Atucha I
Distribución de
dosis individuales

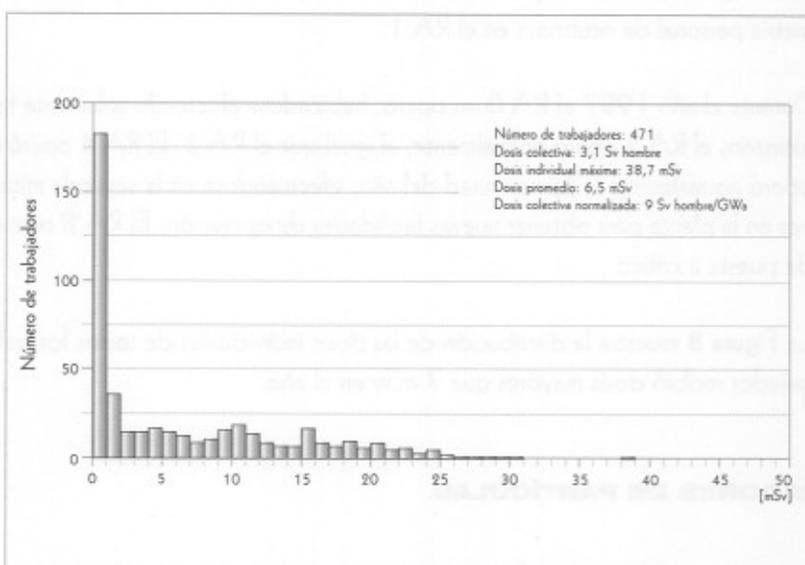
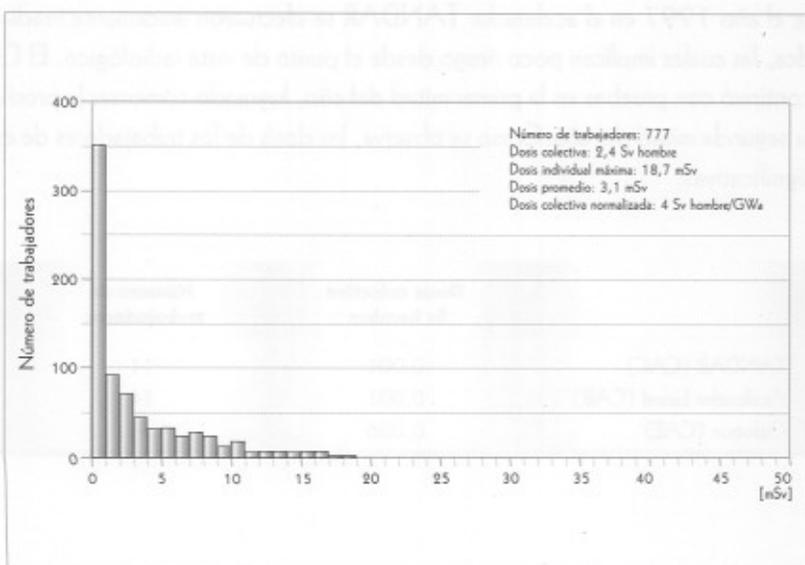


Figura 5
Central Nuclear
Embalse
Distribución de
dosis individuales



REACTORES DE INVESTIGACIÓN Y CONJUNTOS CRÍTICOS

La **Figura 6** presenta la distribución del número de trabajadores de los reactores de investigación y conjuntos críticos en operación en el país, según correspondan: al conjunto crítico RA 0, operado por la Universidad Nacional de Córdoba; al reactor de investigación RA 1, ubicado en el Centro Atómico Constituyentes (CAC), operado por la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA); al reactor para producción de radioisótopos RA 3, ubicado en el Centro Atómico Ezeiza (CAE), operado por la CNEA; al conjunto crítico RA 4, operado por la Universidad Nacional de Rosario; al reactor de investigación RA 6, ubicado en el Centro Atómico Bariloche (CAB), operado por la CNEA; y al conjunto crítico RA 8, ubicado en Pilcaniyeu, operado por la CNEA. El número total de trabajadores es de 102, correspondiendo el 33% de los mismos al reactor RA 3.

La **Figura 7** muestra la correspondiente distribución de dosis colectiva total, la cual fue de 0,12 Sv hombre. La mayor contribución a la misma corresponde al RA 3 (50%) y al RA 1 (42%). Cabe aclarar que a raíz de un requerimiento de la ARN, se comenzó a implementar en el año 1997 la dosimetría personal de neutrones en el RA 1.

Durante el año 1997 el RA 0 no operó, habiéndose efectuado solamente tareas de mantenimiento rutinario, el RA 1 operó normalmente, al igual que el RA 3. El RA 4 operó poco tiempo, el RA 6 operó normalmente la primer mitad del año, efectuándose en la segunda mitad del año modificaciones en la planta para obtener nuevas facilidades de operación. El RA 8 operó solamente el período de puesta a crítico.

La **Figura 8** muestra la distribución de las dosis individuales de todos los trabajadores. Ningún trabajador recibió dosis mayores que 7 mSv en el año.

ACELERADORES DE PARTÍCULAS

La siguiente tabla presenta los parámetros correspondientes a las distribuciones de dosis individuales de las máquinas aceleradoras de partículas para investigación y producción de radioisótopos. Durante el año 1997 en el acelerador TANDAR se efectuaron únicamente irradiaciones con iones pesados, las cuales implican poco riesgo desde el punto de vista radiológico. El Ciclotrón de producción continuó con pruebas en la primer mitad del año, logrando comenzar la producción de talio 201 en la segunda mitad del año. Como se observa, las dosis de los trabajadores de estas prácticas son poco significativas.

	Dosis colectiva Sv hombre	Número de trabajadores	Dosis promedio mSv
TANDAR (CAC)	0,001	11	0,1
Acelerador Lineal (CAB)	0,001	14	0,1
Ciclotrón (CAE)	0,006	9	0,7

Figura 6
Reactores de investigación y conjuntos críticos
Distribución de trabajadores controlados

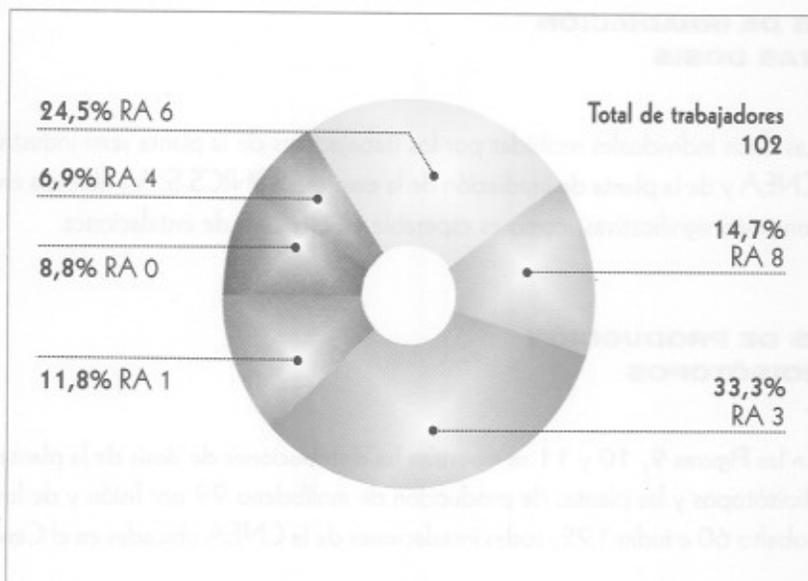


Figura 7
Reactores de investigación y conjuntos críticos
Distribución de dosis colectiva

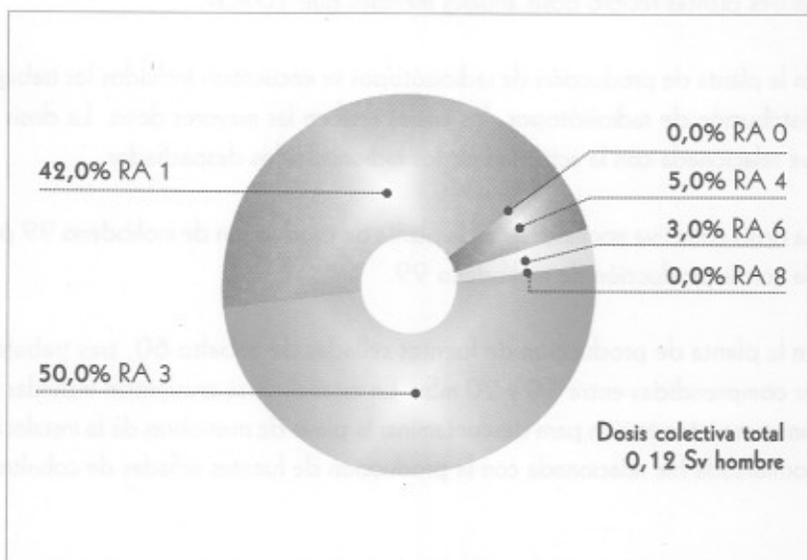
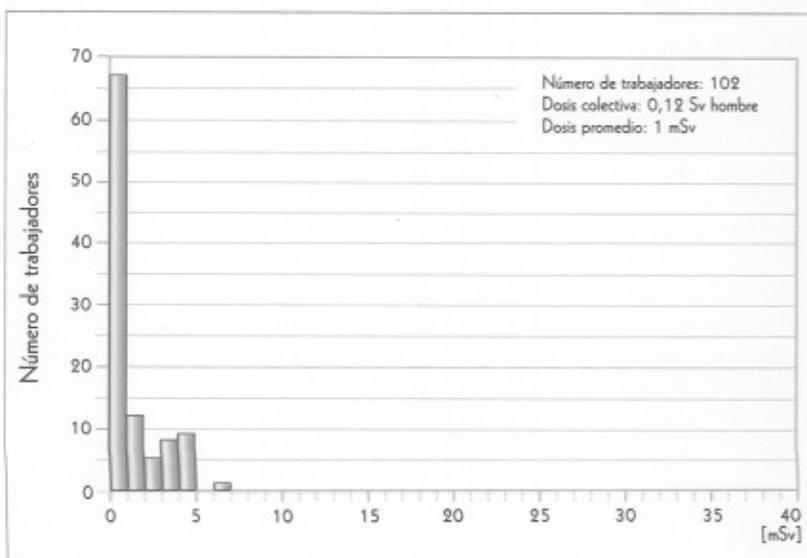


Figura 8
Reactores de investigación y conjuntos críticos
Distribución de dosis individuales



PLANTAS DE IRRADIACIÓN CON ALTAS DOSIS

Las dosis individuales recibidas por los trabajadores de la planta semi-industrial de irradiación de la CNEA y de la planta de irradiación de la empresa IONICS S.A., ubicada en la localidad de Tigre, son poco significativas, como es esperable en este tipo de instalaciones.

PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE RADIOISÓTOPOS

En las Figuras 9, 10 y 11 se muestran las distribuciones de dosis de la planta de producción de radioisótopos y las plantas de producción de molibdeno 99 por fisión y de fuentes encapsuladas de cobalto 60 e iridio 192, todas instalaciones de la CNEA ubicadas en el Centro Atómico Ezeiza.

En estas plantas ningún trabajador superó los 20 mSv en el año. El 95% de los 84 trabajadores de las tres plantas recibió dosis anuales menores que 10 mSv.

En la planta de producción de radioisótopos se encuentran incluidos los trabajadores dedicados a la distribución de radioisótopos, los cuales reciben las mayores dosis. La dosis colectiva normalizada fue relacionada con la actividad de los radionucleidos despachados.

La dosis colectiva normalizada en la planta de producción de molibdeno 99 por fisión fue relacionada con la producción de molibdeno 99.

En la planta de producción de fuentes selladas de cobalto 60, tres trabajadores recibieron dosis comprendidas entre 10 y 20 mSv. En estas dosis se encuentran incluidas las dosis recibidas durante una intervención para descontaminar la playa de maniobras de la instalación. La dosis colectiva normalizada fue relacionada con la producción de fuentes selladas de cobalto 60.

Figura 9
Planta de
producción de
radioisótopos
 Distribución de
 dosis individuales

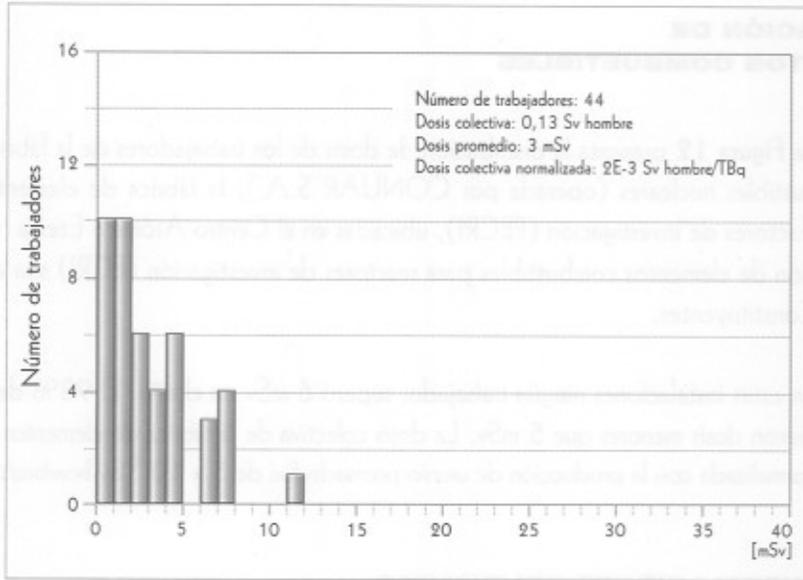


Figura 10
Planta de
producción de
molibdeno 99
por fisión
 Distribución de
 dosis individuales

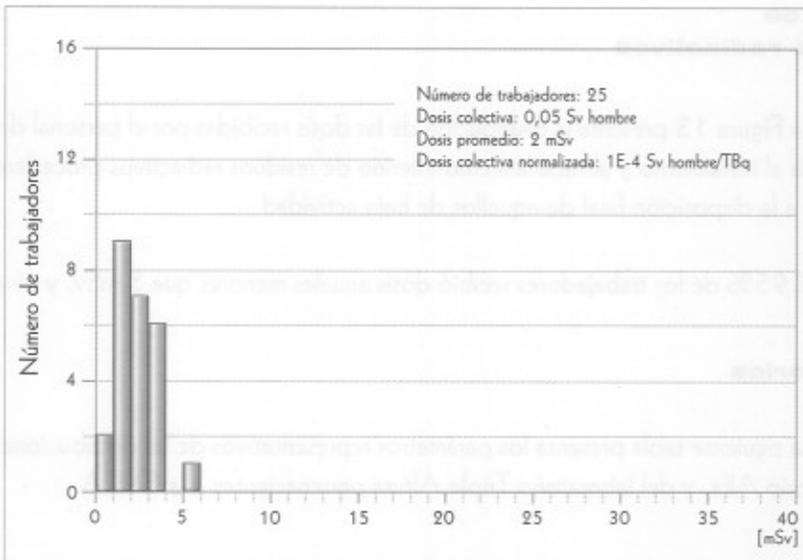
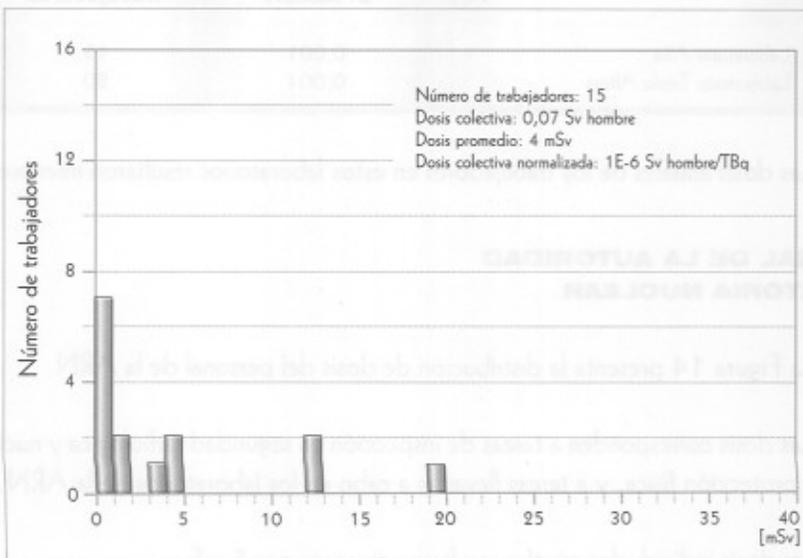


Figura 11
Planta de
producción de
fuentes selladas
 Distribución de
 dosis individuales



FABRICACIÓN DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES

La Figura 12 presenta la distribución de dosis de los trabajadores de la fábrica de elementos combustibles nucleares (operada por CONUAR S.A.), la fábrica de elementos combustibles para reactores de investigación (FECRI), ubicadas en el Centro Atómico Ezeiza y la planta de fabricación de elementos combustibles para reactores de investigación (ECRI) sita en el Centro Atómico Constituyentes.

En estas instalaciones ningún trabajador superó 6 mSv en el año. El 93% de los trabajadores recibieron dosis menores que 5 mSv. La dosis colectiva de la fábrica de elementos combustibles nucleares normalizada con la producción de uranio prensado fue de 5×10^{-4} Sv hombre/t.

OTRAS INSTALACIONES RELEVANTES

Gestión de residuos radiactivos

La Figura 13 presenta la distribución de las dosis recibidas por el personal de la instalación destinada al tratamiento y almacenamiento interino de residuos radiactivos procedentes de distintas tareas, y a la disposición final de aquellos de baja actividad.

El 95% de los trabajadores recibió dosis anuales menores que 5 mSv, y ninguno superó 6 mSv.

Laboratorios

La siguiente tabla presenta los parámetros representativos de las distribuciones de dosis del Laboratorio Alfa, y del laboratorio Triple Altura pertenecientes a la CNEA.

	Dosis colectiva Sv hombre	Número de trabajadores	Dosis promedio mSv
Laboratorio Alfa	0,001	15	0,1
Laboratorio Triple Altura	0,004	20	0,2

Las dosis anuales de los trabajadores en estos laboratorios resultaron inferiores a 1 mSv.

PERSONAL DE LA AUTORIDAD REGULATORIA NUCLEAR

La Figura 14 presenta la distribución de dosis del personal de la ARN.

Las dosis corresponden a tareas de inspección en seguridad radiológica y nuclear, y en salvaguardias y protección física, y a tareas llevadas a cabo en los laboratorios de la ARN.

Las dosis individuales anuales resultaron menores que 5 mSv.

Figura 12
Fabricación de
elementos
combustibles
 Distribución de
 dosis individuales

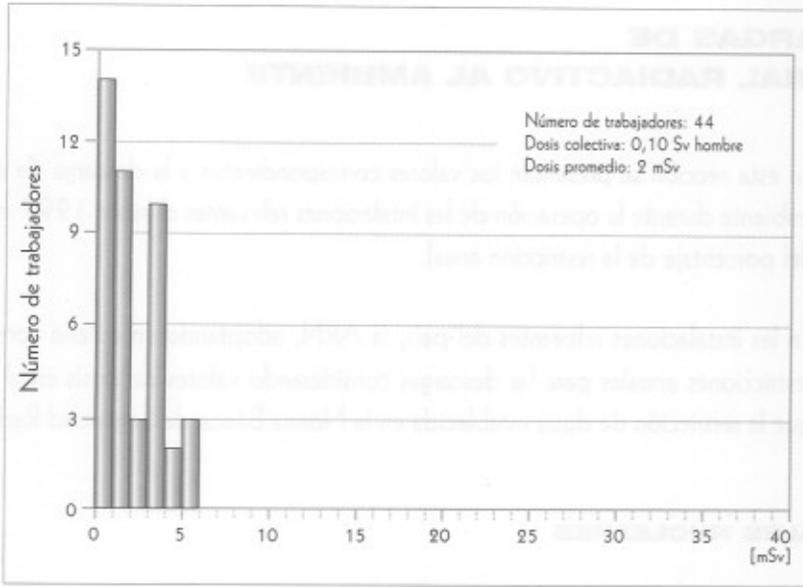


Figura 13
Gestión de
residuos
radiactivos
 Distribución de
 dosis individuales

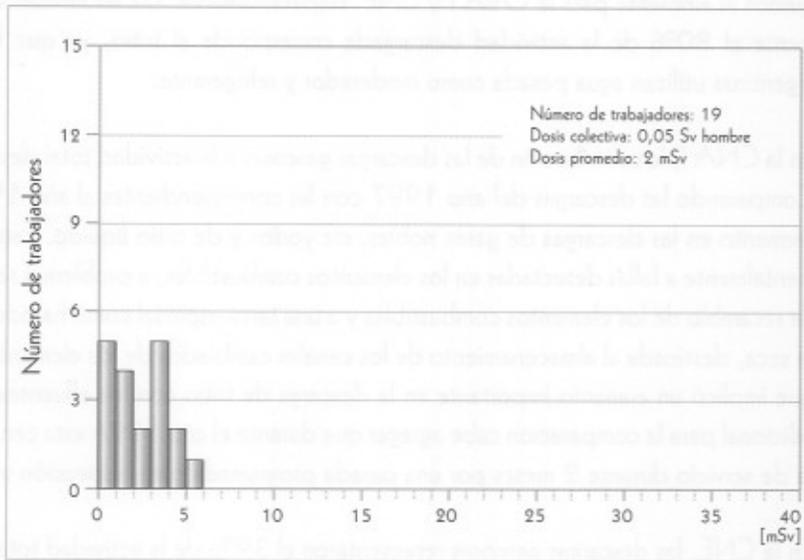
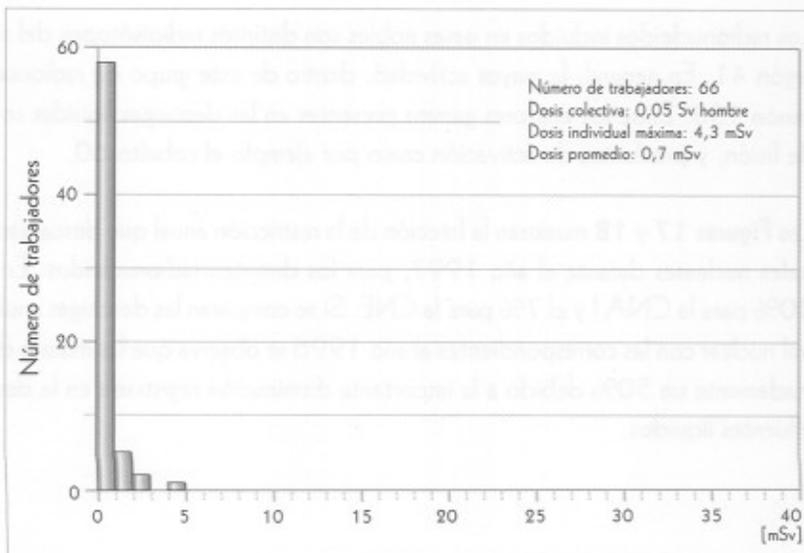


Figura 14
Personal
de la ARN
 Distribución de
 dosis individuales



DESCARGAS DE MATERIAL RADIATIVO AL AMBIENTE

En esta sección se presentan los valores correspondientes a la descarga de efluentes radiactivos al ambiente durante la operación de las instalaciones relevantes durante 1997 expresados en términos del porcentaje de la restricción anual.

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

CENTRALES NUCLEARES

Las Figuras 15 y 16 muestran la composición de las descargas de efluentes radiactivos gaseosos y líquidos al ambiente para la CNA I y CNE, respectivamente. De las mismas surge que aproximadamente el 80% de la actividad descargada corresponde al tritio, ya que las centrales nucleares argentinas utilizan agua pesada como moderador y refrigerante.

En la CNA I, la contribución de las descargas gaseosas a la actividad total descargada fue del 66%. Comparando las descargas del año 1997 con las correspondientes al año 1996 se observa un incremento en las descargas de gases nobles, de yodos y de tritio líquido. Esto se ha debido fundamentalmente a fallas detectadas en los elementos combustibles, a problemas registrados en el sistema de recambio de los elementos combustibles y a una tarea especial como ha sido la limpieza de la piletta seca, destinada al almacenamiento de los canales cambiados de los elementos combustibles, tarea que implicó un aumento importante en la descarga de tritio con los efluentes líquidos. Como dato adicional para la comparación cabe agregar que durante el año 1996 esta central nuclear estuvo fuera de servicio durante 2 meses por una parada programada para inspección y mantenimiento.

En la CNE, las descargas gaseosas representaron el 39% de la actividad total, manteniendo la tendencia registrada en años anteriores.

Los radionucleidos incluidos en gases nobles son distintos radioisótopos del xenón, del criptón, y el argón 41. En general, la mayor actividad, dentro de este grupo de radionucleidos corresponde al xenón 133. Entre los emisores gamma presentes en las descargas líquidas se encuentran productos de fisión, y productos de activación como por ejemplo el cobalto 60.

Las Figuras 17 y 18 muestran la fracción de la restricción anual que descargaron al ambiente las centrales nucleares durante el año 1997, para los distintos radionucleidos. En total representaron el 30% para la CNA I y el 7% para la CNE. Si se comparan las descargas anuales de esta última central nuclear con las correspondientes al año 1996 se observa que las mismas disminuyeron en aproximadamente un 50% debido a la importante disminución registrada en la descarga de tritio con los efluentes líquidos.

Figura 15
Central Nuclear
Atucha I
 Composición
 de las descargas
 al ambiente

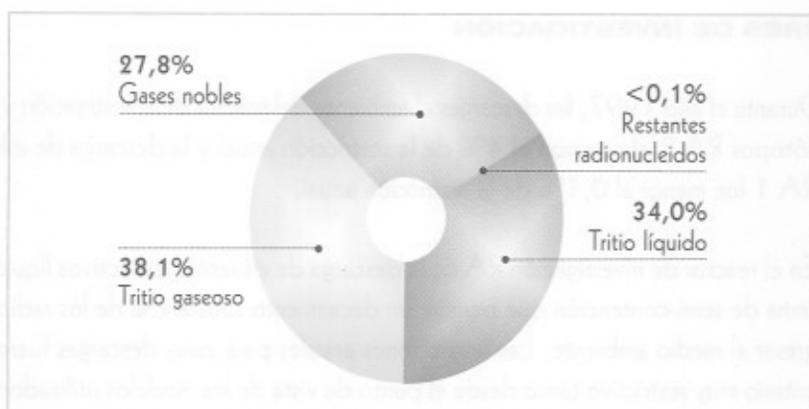


Figura 16
Central Nuclear
Embalse
 Composición
 de las descargas
 al ambiente

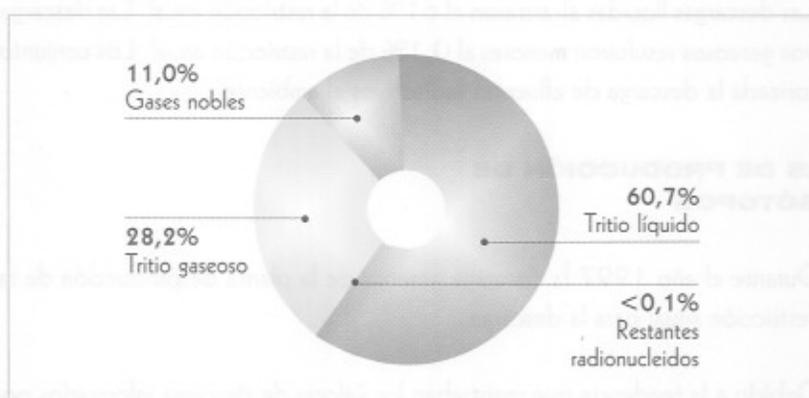


Figura 17
 Descargas al
 ambiente
Central Nuclear
Atucha I
 Porcentaje de
 la restricción anual

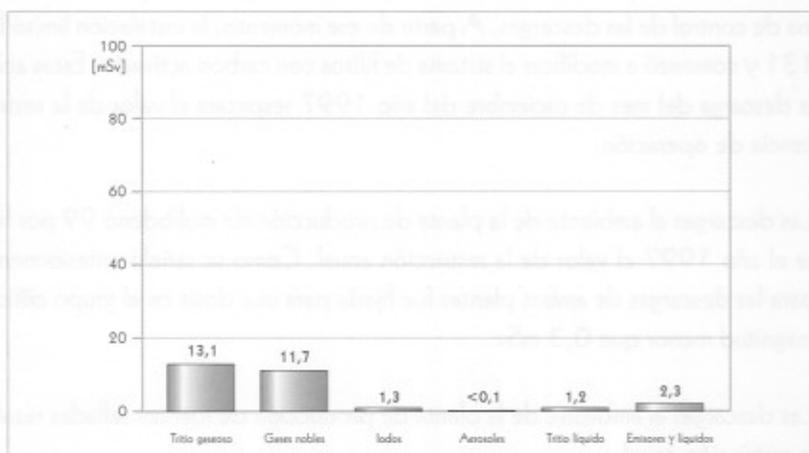
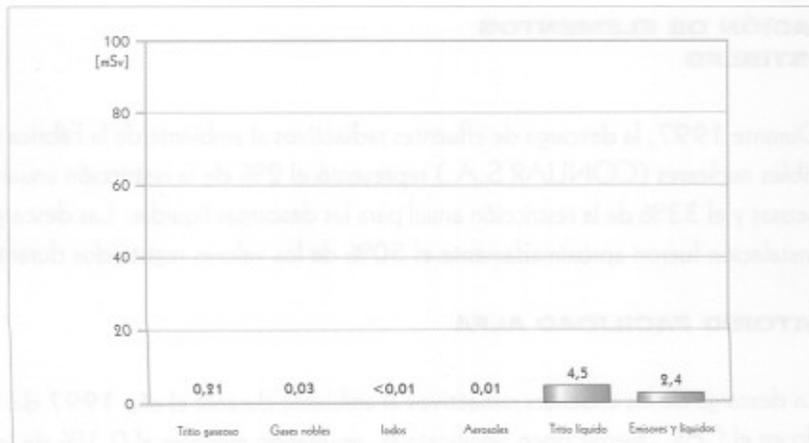


Figura 18
 Descargas al
 ambiente
Central Nuclear
Embalse
 Porcentaje de
 la restricción anual



REACTORES DE INVESTIGACIÓN

Durante el año 1997, las descargas al ambiente del reactor de investigación y producción de radioisótopos RA 3 alcanzaron el 4% de la restricción anual y la descarga de efluentes radiactivos del RA 1 fue menor al 0,1% de la restricción anual.

En el reactor de investigación RA 6, la descarga de efluentes radiactivos líquidos se efectúa a un sistema de semi-contención que permite un decaimiento substancial de los radionucleidos antes de ingresar al medio ambiente. Las restricciones anuales para estas descargas fueron establecidas con un criterio muy restrictivo tanto desde el punto de vista de los modelos utilizados para estimar el impacto potencial en el grupo crítico hipotético futuro, como por la dosis asignada a dicho grupo crítico. Las descargas líquidas alcanzaron el 61% de la restricción anual. Las descargas de efluentes radiactivos gaseosos resultaron menores al 0,1% de la restricción anual. Los conjuntos críticos no tienen autorizada la descarga de efluentes radiactivos al ambiente.

PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE RADIOISÓTOPOS

Durante el año 1997 la descarga gaseosa de la planta de producción de radioisótopos superó la restricción anual para la descarga.

Debido a la tendencia que registraban los valores de descarga informados por la instalación, correspondientes a los primeros meses del año, la ARN exigió a esta planta la revisión completa del sistema de control de las descargas. A partir de ese momento, la instalación limitó la producción de yodo 131 y comenzó a modificar el sistema de filtros con carbón activado. Estas acciones permitieron que la descarga del mes de diciembre del año 1997 respetara el valor de la restricción que indica la licencia de operación.

Las descargas al ambiente de la planta de producción de molibdeno 99 por fisión alcanzaron durante el año 1997 el valor de la restricción anual. Como se señaló anteriormente, la restricción anual para las descargas de ambas plantas fue fijada para una dosis en el grupo crítico más de un orden de magnitud menor que 0,3 mSv.

Las descargas al ambiente de la planta de producción de fuentes selladas resultó menor al 0,1% de la restricción anual.

FABRICACIÓN DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES

Durante 1997, la descarga de efluentes radiactivos al ambiente de la Fábrica de elementos combustibles nucleares (CONUAR S.A.) representó el 2% de la restricción anual para las descargas gaseosas y el 33% de la restricción anual para las descargas líquidas. Las descargas al ambiente en esta instalación fueron aproximadamente el 50% de los valores registrados durante el año 1996.

LABORATORIO FACILIDAD ALFA

La descarga de los efluentes radiactivos al ambiente durante el año 1997 del laboratorio alfa, situado en el CAC, fueron poco significativas, resultando menores al 0,1% de la restricción anual.

DOSIS EN EL PÚBLICO

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

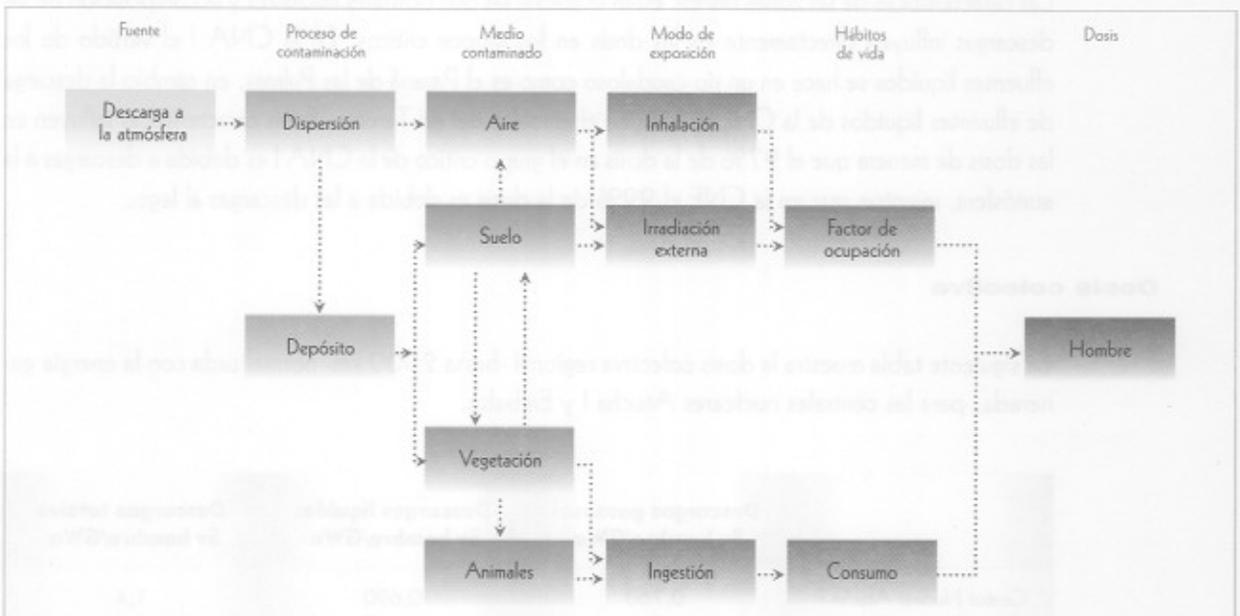
La cadena de acontecimientos que tiene lugar desde la emisión de material radiactivo al ambiente hasta su llegada al hombre se representa mediante una serie de compartimentos, relacionados entre sí por parámetros de transferencia. Los parámetros son constantes en el tiempo y a los modelos se los llama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

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

El material radiactivo liberado al ambiente se dispersa, se diluye en la atmósfera y en el agua, y posteriormente es transportado por el viento o los cursos de agua. En la **Figura 19** se representan, a modo de ejemplo, las vías críticas de exposición del hombre para radionucleidos liberados a la atmósfera.

Figura 19

Vías críticas de exposición de descargas atmosféricas



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

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

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

La estimación de la irradiación interna de las personas, debida a la liberación de material radiactivo a la atmósfera, ingerido o inhalado por las mismas, comienza con la determinación de la concentración de radionucleidos en el aire y de la actividad depositada en las superficies de interés, para continuar con el análisis de la transferencia de los radionucleidos hasta el hombre.

CENTRALES NUCLEARES

Dosis en el grupo crítico

La **Figura 20** muestra las dosis en los grupos críticos debido a la descarga de efluentes radiactivos gaseosos y líquidos, correspondientes a la CNA I y la CNE. En la misma puede observarse que estas dosis están muy por debajo de la restricción de dosis para una instalación en particular, fijada por la ARN en 0,3 mSv. Las dosis resultaron inferiores al 5% de dicha restricción.

Las características de las zonas donde están ubicadas las dos centrales nucleares y la composición de las descargas influyen directamente en las dosis en los grupos críticos. En la CNA I el vertido de los efluentes líquidos se hace en un río caudaloso como es el Paraná de las Palmas, en cambio la descarga de efluentes líquidos de la CNE se hace en el embalse del río Tercero. Estas características influyen en las dosis de manera que el 97% de la dosis en el grupo crítico de la CNA I es debida a descargas a la atmósfera, mientras que en la CNE el 99% de la dosis es debida a las descargas al lago.

Dosis colectiva

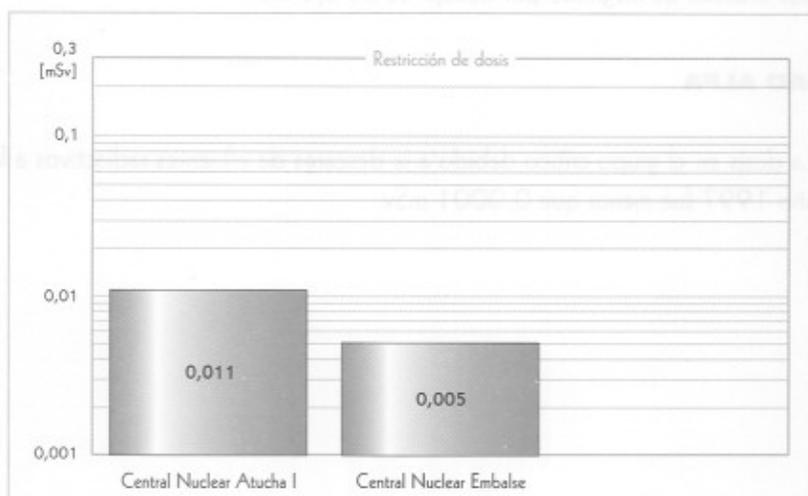
La siguiente tabla muestra la dosis colectiva regional -hasta 2000 km- normalizada con la energía generada, para las centrales nucleares Atucha I y Embalse.

	Descargas gaseosas Sv hombre/GWa	Descargas líquidas Sv hombre/GWa	Descargas totales Sv hombre/GWa
Central Nuclear Atucha I	0,760	0,690	1,4
Central Nuclear Embalse	0,004	0,170	0,2

La dosis colectiva global normalizada con la energía generada, debido a las descargas de tritio, excluido el carbono 14, resultó 1,10 Sv hombre por GW y 0,05 Sv hombre por GW año para la CNA I y la CNE, respectivamente.

Estos valores de dosis colectiva normalizada resultaron inferiores al valor de la restricción de dosis fijada por la ARN en 15 Sv hombre por GW año. Cabe aclarar que las restricciones para las descargas de carbono 14 se establecieron en el país para la CNA II en construcción, no correspondiendo su aplicación para la CNA I y CNE.

Figura 20
Centrales Nucleares
Dosis en el grupo crítico



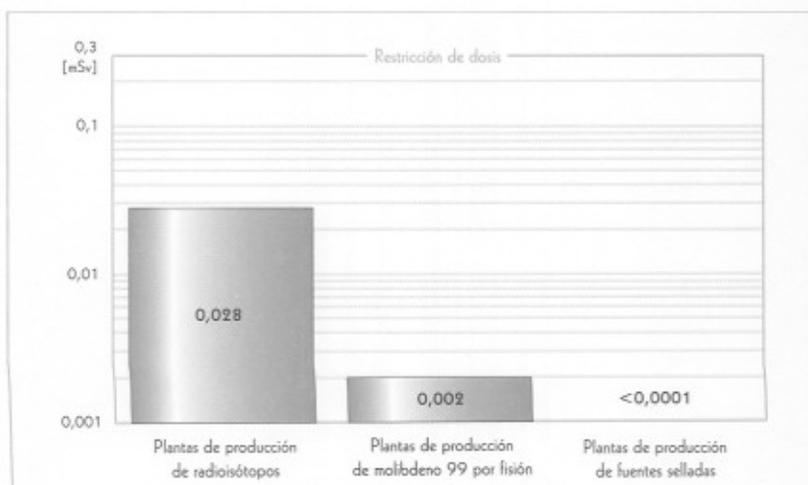
REACTORES DE INVESTIGACIÓN

La dosis en el grupo crítico resultante de la operación del reactor RA 3 durante 1997 fue 0,004 mSv. La misma resultó aproximadamente el 1% del valor de la restricción de dosis fijada en 0,3 mSv. Dado que las descargas líquidas del RA 6 están aisladas del medio ambiente, se estima sólo la dosis en el grupo crítico resultante de la descarga de efluentes radiactivos gaseosos. La misma fue poco significativa, como es esperable en este tipo de reactor de investigación, resultando menor a 0,001 mSv.

PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE RADIOISÓTOPOS

La **Figura 21** muestra la dosis en el grupo crítico resultante de la operación de las plantas de producción ubicadas en el Centro Atómico Ezeiza. Las mismas resultaron un orden de magnitud menores que los 0,3 mSv.

Figura 21
Plantas de producción
Dosis en el grupo crítico



**FABRICACIÓN DE
ELEMENTOS COMBUSTIBLES**

La dosis en el grupo crítico resultante de la operación de la fábrica de elementos combustibles nucleares (CONUAR S.A.), durante el año 1997, fue 0,001 mSv, lo cuál se encuentra más de dos órdenes de magnitud por debajo de los 0,3 mSv.

FACILIDAD ALFA

La dosis en el grupo crítico debido a la descarga de efluentes radiactivos a la atmósfera durante el año 1997 fue menor que 0,0001 mSv.

VIGILANCIA AMBIENTAL

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

Las instalaciones, alrededor de las cuales la ARN ha efectuado monitoreos ambientales durante el año 1997 son: las centrales nucleares de NASA, Atucha I y Embalse, el Centro Atómico Ezeiza, el Complejo fabril Córdoba de CNEA y los ex Complejos minero fabriles de Los Gigantes, La Estela, Tonco y Los Colorados, como se indica en la **Figura 22**.

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

MONITOREO AMBIENTAL ALREDEDOR DE LAS INSTALACIONES NUCLEARES

Desde la puesta en marcha de la primera central nuclear, en 1974, se implementó un programa de monitoreo, abarcando la mayor parte de los compartimentos del modelo ambiental, para lo cual, se fijaron los criterios para establecer los puntos de toma de muestras y las frecuencias de muestreo apropiadas. Las técnicas de análisis y medición son adecuadas para la detección de los distintos radionucleidos.

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

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

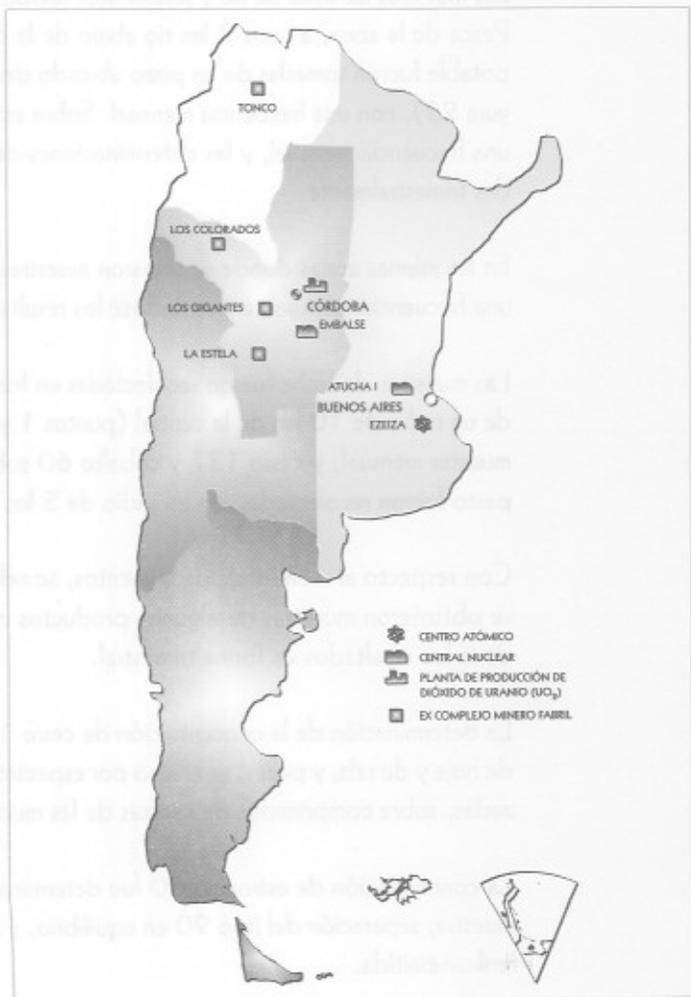


Figura 22

Central Nuclear Atucha I

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

En la **Figura 23** se presenta la ubicación de los puntos de muestreo ambiental en los alrededores de la CNA I.

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

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas a la atmósfera, se tomaron y analizaron muestras de alimentos producidos en la zona, tales como leche y vegetales (papa, lechuga, zanahoria, remolacha, acelga, repollo, batata, zapallito, naranja, quinoto, limón, mandarina, pomelo, trigo, durazno, berenjena, coliflor, pepino, espinaca, calabaza, zapallito, ciruela, chaucha y tomate). El pasto fue analizado como indicador del depósito de material radiactivo. Se tomaron en total 135 muestras en los diferentes puntos de muestreo, sobre las que se realizaron 400 determinaciones.

Las muestras de agua de río y sedimentos fueron tomadas con una frecuencia mensual, en el Club de Pesca de la zona, a unos 3 km río abajo de la central (punto 3, figura 23). Las muestras de agua potable fueron tomadas de un pozo ubicado dentro de un radio de 5 km de la central (punto 1, figura 23), con una frecuencia mensual. Sobre estas muestras se realizó la determinación de tritio con una frecuencia mensual, y las determinaciones de cesio 137 y estroncio 90 en muestras promediadas trimestralmente.

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

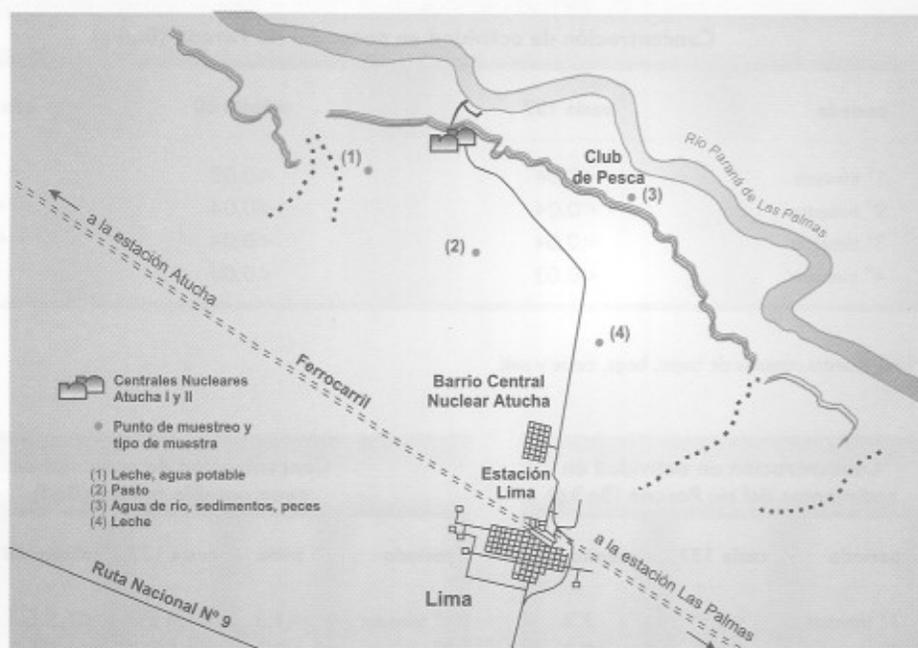
Las muestras de leche fueron recolectadas en forma semanal, en zonas de pastoreo ubicadas dentro de un radio de 10 km de la central (puntos 1 y 4, figura 23), determinándose yodo 131 en una muestra mensual, y cesio 137 y cobalto 60 sobre muestras conjuntas trimestrales. Las muestras de pasto fueron recolectadas, en un radio de 5 km de la central (punto 2, figura 23).

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

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

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

Figura 23



La determinación de la concentración de yodo 131 se llevó a cabo por precipitación del radionucleido, tanto el que está unido a proteínas como el que está presente en forma iónica, y posterior medición en un detector de germanio hiperpuro. Las mediciones se realizaron sobre muestras que fueron recolectadas mensualmente y los resultados se expresan como promedios trimestrales.

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

Concentración de actividad en agua del río Paraná (Bq/l)				
período	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
enero	75			
febrero	<4,3	<3,4 E-3	<1,9 E-3	<8,0 E-4
marzo	<4,3			
abril	0,4			
mayo	17	<1,7 E-3	<1,0 E-3	9,0 E-4
junio	<3,8			
julio	<4,3			
agosto	<4,3	<1,5 E-3	<1,2 E-3	9,7 E-4
septiembre	<4,3			
octubre	0,9			
noviembre	<4,2	<1,6 E-3	<1,5 E-3	<1,0 E-3
diciembre	9,5			

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

Concentración de actividad en peces del río Paraná (Bq/kg)			
período	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
1º trimestre	<0,04	<0,02	0,13
2º trimestre	<0,04	<0,04	<0,08
3º trimestre	<0,04	<0,04	<0,06
4º trimestre	<0,03	<0,03	0,38

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

Concentración de actividad en sedimentos del río Paraná (Bq/kg)		
período	cesio 137	cobalto 60
1º trimestre	<0,9	3,3
2º trimestre	<1,0	<0,7
3º trimestre	<1,0	<1,5
4º trimestre	<0,6	<1,5

Concentración de actividad en agua potable (napa) (Bq/l)				
período	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
1º trimestre	<4,3	<1,6 E-3	<1,2 E-3	<8,0 E-4
2º trimestre	0,3	<1,5 E-3	<1,2 E-3	<8,0 E-4
3º trimestre	2,3	<2,8 E-3	<2,5 E-3	<2,3 E-3
4º trimestre	<3,2	<1,6 E-3	<1,5 E-3	<9,7 E-4

Concentración de actividad en alimentos de la zona de la CNA I (Bq/kg)								
período	1º trimestre		2º trimestre		3º trimestre		4º trimestre	
	cesio 137	estroncio 90						
lechuga	<0,02	<0,05	<0,02	0,04	<0,04	0,15	<0,01	<0,06
zanahoria	---	---	---	---	<0,02	<0,05	<0,04	<0,2
papa	<0,01	<0,08	---	---	<0,03	<0,06	<0,05	<0,09
remolacha	---	---	<0,03	<0,05	---	---	---	---
ecelga	<0,03	<0,07	---	---	<0,02	<0,05	<0,04	0,4
naranja	<0,01	<0,03	<0,01	<0,02	<0,02	0,14	<0,02	<0,1
quinoto	---	---	<0,03	<0,03	---	---	---	---
limón	---	---	<0,02	<0,07	<0,04	<0,05	---	---
mandarina	---	---	<0,02	0,18	<0,01	0,44	---	---
repollo	---	---	<0,01	<0,04	<0,02	<0,05	---	---
batata	<0,02	<0,05	---	---	<0,04	<0,1	---	---
pomelo	---	---	---	---	<0,02	<0,06	---	---
trigo	<0,03	<0,04	---	---	---	---	---	---
durazno	<0,01	<0,02	---	---	---	---	<0,02	<0,03
berenjena	<0,02	<0,03	---	---	---	---	---	---
coliflor	---	---	<0,03	<0,04	<0,03	<0,07	---	---
pepino	---	---	<0,02	<0,02	---	---	<0,02	<0,06
espinaca	---	---	---	---	<0,03	<0,08	---	---
calabaza	---	---	---	---	<0,03	<0,06	---	---
zapallito	<0,02	<0,03	---	---	---	---	<0,03	<0,1
ciruela	---	---	---	---	---	---	<0,02	<0,1
chaucha	---	---	---	---	---	---	<0,01	<0,03
tomate	---	---	---	---	---	---	<0,02	<0,07

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

Concentración de actividad en leche de la zona de la CNA I (Bq/l)			
período	yodo 131	cesio 137	estroncio 90
1º trimestre	<0,4	<0,01	<0,04
2º trimestre	<0,3	<0,02	<0,06
3º trimestre	<0,4	<0,01	<0,06
4º trimestre	<0,2	<0,01	<0,05

Concentración de actividad en pasto de la zona de la CNA I (Bq/kg)			
período	yodo 131	cesio 137	estroncio 90
1º trimestre	<0,5	<0,9	<1,2
2º trimestre	<0,4	<0,4	<1,0
3º trimestre	<0,7	<0,9	<1,5
4º trimestre	<1,7	<1,6	<1,5

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

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

Dado que los resultados de las mediciones resultaron, en general, menores que los límites de detección, se calculó una cota superior para la dosis en el grupo crítico, considerando las vías de exposición y condiciones mencionadas precedentemente, la cual resultó menor que $4,5 \times 10^{-3}$ mSv. Este valor se encuentra muy por debajo del valor límite de dosis establecido en la normativa vigente (1 mSv). Cabe aclarar que en este caso, la dosis calculada en el grupo crítico, se compara con el límite de dosis para público, dado que los radionucleidos identificados en las muestras ambientales son consecuencia de todas las prácticas que descargan materiales radiactivos al ambiente.

Central Nuclear Embalse

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

En la **Figura 24**, se presenta la ubicación de los puntos de muestreo ambiental en los alrededores de la CNE.

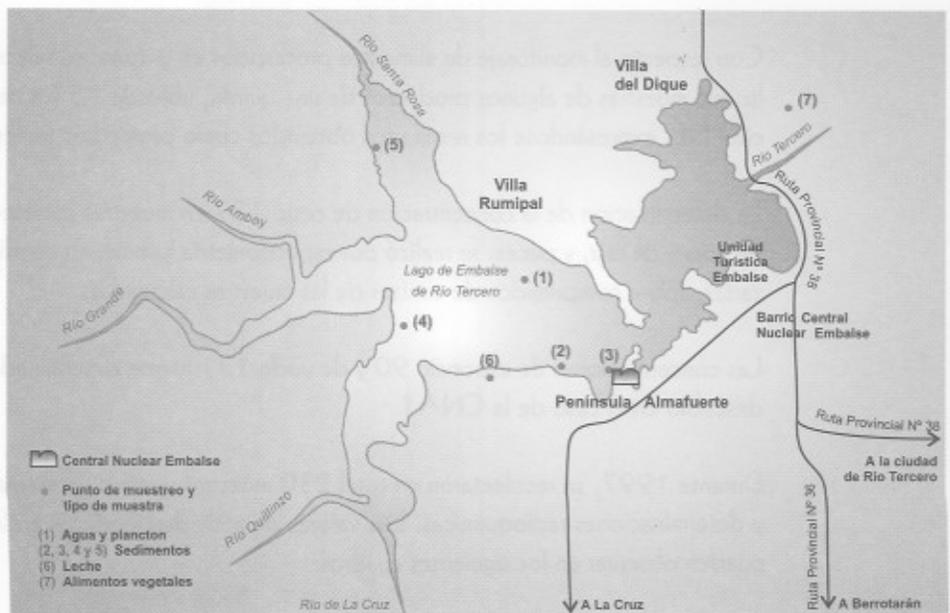


Figura 24

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

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

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas gaseosas, se tomaron y analizaron muestras de alimentos producidos en la zona de influencia de la central, tales como vegetales (remolacha, repollo, zapallito, acelga, lechuga, escarola, zanahoria, rabanito, maíz, soja, limón, choclo, durazno, sandía, calabaza, mandarina, pepino, espinaca, cebolla de verdeo, damasco, higo y ciruela) y leche. Como indicador del depósito del material radiactivo, se recolectó pasto en el perímetro de la instalación.

Las muestras de leche fueron obtenidas de un tambo ubicado dentro de un radio de 5 km de la central nuclear, en forma semanal, determinándose yodo 131 en forma mensual, y cesio 137 y estroncio 90, trimestralmente.

Las muestras de agua del lago y plancton fueron tomadas, con una frecuencia mensual, de la estación Confluencia (punto 1, figura 24). Las muestras de agua potable se tomaron de una vivienda particular, conectada a la red de distribución domiciliaria de la ciudad de Embalse, con una frecuencia de muestreo mensual. Mensualmente, se determinó tritio, tanto en agua del lago como en agua potable, y con una frecuencia trimestral se determinaron cesio 137 y estroncio 90.

Mensualmente, se tomaron muestras de sedimentos de los siguientes puntos: Costa Mignone I (punto 2), Costa Mignone II (punto 3, figura 24), Costa Río Grande (punto 4, figura 24) y Costa Río Santa Rosa (punto 5, figura 24).

La captura de peces de diferentes especies fue realizada de distintas partes del lago, con una frecuencia mensual, expresándose los resultados como promedios trimestrales. También, se muestrearon camarones por arrastre, aunque no se obtuvieron las cantidades deseadas, debido a la dificultad en la obtención de las muestras (punto 4, figura 24).

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

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

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

Durante 1997, se recolectaron en total 230 muestras y sobre las mismas se realizaron 690 análisis y determinaciones radioquímicas. Los valores de actividad medidos en las muestras mencionadas se pueden observar en los siguientes cuadros:

Concentración de actividad en agua del lago de Embalse de Río Tercero (Bq/l)

período	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
enero	600			
febrero	490	<3,0 E-3	<2,0 E-3	<1,0 E-3
marzo	380			
abril	360			
mayo	390	<2,0 E-3	<2,7 E-3	<2,2 E-3
junio	390			
julio	370			
agosto	440	<2,0 E-3	<1,8 E-3	<2,0 E-3
setiembre	470			
octubre	440			<2,0 E-3
noviembre	520	<2,0 E-3	<3,5 E-3	
diciembre	500			

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

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

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

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

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

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

período	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
1° trimestre	430	<4,5 E-3	<2,5 E-3	<2,4 E-3
2° trimestre	400	<4,7 E-3	<3,2 E-3	<9,0 E-3
3° trimestre	408	<1,6 E-3	<1,5 E-3	<1,0 E-3
4° trimestre	540	<3,2 E-3	<1,6 E-3	

Concentración de actividad en alimentos de la zona de la CNE (Bq/kg)								
período	1° trimestre		2° trimestre		3° trimestre		4° trimestre	
especie	cesio 137	estroncio 90						
choclo	<0,02	<0,03	---	---	---	---	---	---
durazno	<0,03	<0,05	---	---	---	---	---	---
sandía	<0,01	0,06	---	---	---	---	---	---
repollo	---	---	---	---	<0,02	<0,04	---	---
acelga	<0,06	<0,1	<0,03	<0,1	<0,02	<0,07	<0,04	<0,09
maíz	---	---	<0,03	0,1	---	---	---	---
limón	---	---	---	---	<0,01	0,2	---	---
zanahoria	---	---	---	---	<0,02	<0,05	---	---
lechuga	---	---	<0,02	<0,06	<0,02	<0,05	<0,03	0,11
escarola	<0,05	<0,1	---	---	---	---	---	---
rabanito	---	---	<0,03	<0,06	---	---	<0,06	0,28
remolacha	<0,03	0,1	<0,04	<0,07	<0,03	0,23	<0,02	<0,09
calabaza	---	---	<0,02	<0,04	---	---	---	---
mandarina	---	---	<0,02	<0,05	---	---	---	---
soja	<0,13	0,3	---	---	---	---	---	---
pepino	---	---	<0,02	<0,02	---	---	---	---
zapallito	<0,01	<0,03	---	---	---	---	---	---
espinaca	---	---	---	---	<0,04	0,2	---	---
cebolla de verdeo	---	---	---	---	<0,02	<0,08	---	---
damasco	---	---	---	---	---	---	<0,02	<0,09
higo	---	---	---	---	---	---	<0,04	<0,03
ciruela	---	---	---	---	---	---	<0,03	<0,06

Concentración de actividad en leche de la zona de la CNE (Bq/l)			
período	cesio 137	estroncio 90	yodo 131
1° trimestre	<0,03	<0,03	<0,3
2° trimestre	<7,0 E-3	<0,02	<0,5
3° trimestre	<9,0 E-3	<0,03	<0,4
4° trimestre	<0,01	<0,06	<0,2

Depósito de actividad en pasto de la zona de la CNE (Bq/m ²)			
período	cesio 137	cobalto 60	yodo 131
1° trimestre	< 9,0	<5,0	<5,9
2° trimestre	<20,0	<9,0	<10,6
3° trimestre	<10,0	<7,0	<1,7
4° trimestre	<15,0	<8,0	<1,7

Concentración de actividad en peces del lago de Embalse de Río Tercero(Bq/kg)												
período	1° trimestre			2° trimestre			3° trimestre			4° trimestre		
especie	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
mojarra	0,07	0,04	0,03	0,09	<0,04	0,4	0,08	<0,05	<0,29	<0,07	<0,04	<0,37
pejerrey	0,13	<0,04	<0,1	0,06	<0,02	<0,1	0,17	<0,06	<0,25	---	---	---
carpa	<0,04	<0,02	<0,1	<0,05	<0,04	0,3	<0,4	<0,04	0,29	<0,08	<0,06	<0,72
camarón	<0,08	<0,06	<0,1	---	---	---	---	---	---	---	---	---
vieja del agua	<0,04	<0,04	<0,09	---	---	---	---	---	---	---	---	---
dientado	---	---	---	---	---	---	<0,09	<0,05	<0,1	---	---	---
tararira	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,19	<0,04	<0,3

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

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

La presencia de tritio en el agua del lago, se debe a la descarga de efluentes generados en los procesos de purificación y desgasado de agua del circuito primario de refrigeración del reactor. Como valor de referencia se estima la dosis que recibiría una persona si ingiriera durante todo el año, agua del lago con una concentración de tritio igual al valor máximo medido. La misma sería de $7,8 \times 10^{-3}$ mSv, valor muy inferior al valor límite de dosis para público establecido en la normativa vigente. Cabe aclarar que el nivel de concentración de tritio en el agua del lago está relacionado con las variaciones estacionales del nivel de agua del embalse.

La dosis al grupo crítico, estimada en base a la exposición a las vías críticas correspondientes a los radionucleidos identificados en las muestras recogidas, resultó menor que 6×10^{-3} mSv, valor muy por debajo del límite de dosis establecido en la normativa vigente (1 mSv).

Centro Atómico Ezeiza

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

La **Figura 25** muestra la ubicación de los puntos en los que se realiza el muestreo correspondiente al control ambiental en los alrededores del Centro Atómico Ezeiza (CAE).

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

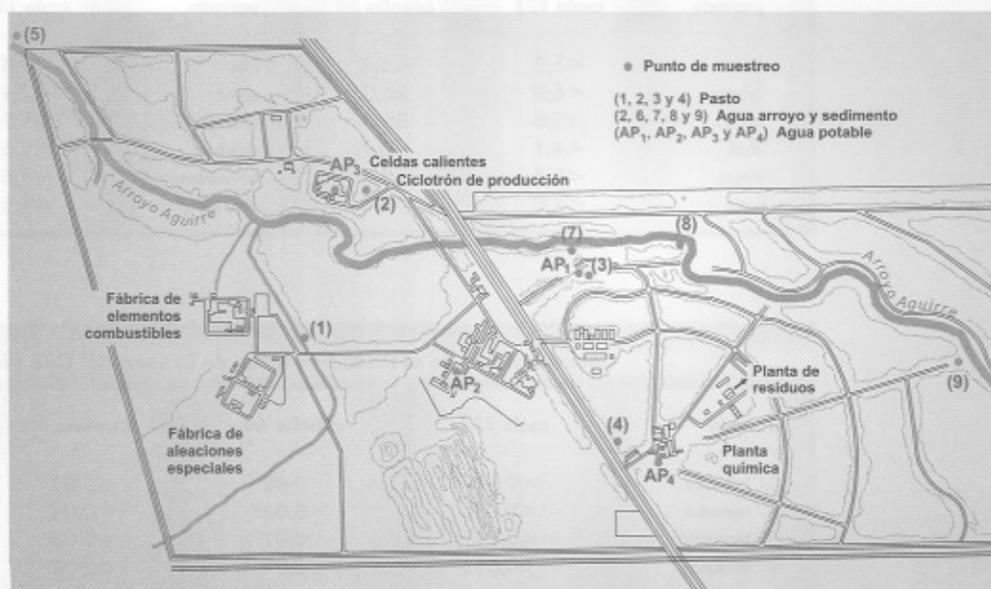


Figura 25

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas gaseosas, se tomaron y analizaron muestras de aire, con una frecuencia semanal, para determinar la presencia de aerosoles radiactivos. Para determinar el depósito de material radiactivo, se tomaron muestras de agua de lluvia que fueron recolectadas y analizadas con una frecuencia trimestral; y muestras de pasto, recolectadas y analizadas con una frecuencia mensual e informadas como promedio trimestral. Además, se recolectaron y analizaron muestras de alimentos vegetales, de una quinta ubicada a 3 km del CAE, en dirección sudoeste, con una frecuencia trimestral. Las muestras de leche fueron recolectadas en forma semanal, de un tambo de la zona, ubicado a 3 km del CAE, en dirección oeste, determinándose los niveles de cesio 137 y estroncio 90, trimestralmente. Las muestras de pasto fueron obtenidas de diferentes puntos, también dentro de un radio de los 3 km (punto 1, 2, 3 y 4, figura 25).

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

Las muestras de agua y sedimentos del arroyo Aguirre fueron tomadas con una frecuencia mensual, antes y después del CAE (puntos 5, 6, 7, 8 y 9, figura 25). También se analizaron muestras provenientes de los tanques de agua potable de dicho centro (puntos AP₁, AP₂, AP₃ y AP₄, figura 25).

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

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

Los resultados obtenidos pueden observarse en los cuadros siguientes:

Concentración de actividad en muestras de aerosoles en aire ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)					
período	cesio 137	cobalto 60	período	cesio 137	cobalto 60
enero	<5,2	<5,1	julio	<3,4	<2,9
febrero	<6,8	86,0	agosto	<7,4	<6,2
marzo	<5,6	26,9	setiembre	<5,2	<3,4
abril	<4,1	<6,7	octubre	<5,5	<3,4
mayo	<5,6	<4,4	noviembre	<4,6	<8,6
junio	<4,0	<3,1	diciembre	<4,5	<4,9

Concentración de actividad en leche de la zona del CAE (Bq/l)				
período	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	yodo 131
1° trimestre	<9 E-3	<0,02	<0,03	<0,41
2° trimestre	<0,02	<0,03	<0,04	<0,32
3° trimestre	<0,01	<0,01	<0,06	<0,2
4° trimestre	<0,01	<0,01	<0,04	<0,1

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

periodo	1° trimestre			2° trimestre			3° trimestre			4° trimestre		
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
AP1	<3,3 E-3	<2,6 E-3	<8 E-4	<3,1 E-3	<2,3 E-4	<8 E-4	<3,1 E-3	<1,5 E-3	<2,1 E-3	<1,8 E-3	<1,2 E-3	<2,0 E-3
AP2	<1,6 E-3	<1,3 E-3	<8 E-4	<1,6 E-3	<1,3 E-3	<8 E-4	<1,6 E-3	<1,3 E-3	<2,0 E-3	<3,1 E-3	<2,5 E-3	<2,0 E-3
AP3	<1,5 E-3	<1,6 E-3	<8 E-4	<1,6 E-3	<1,2 E-3	<8 E-4	<1,6 E-3	<1,3 E-3	<1,9 E-3	<1,5 E-3	<1,3 E-3	<2,0 E-3
AP4	<1,5 E-3	<2,1 E-3	<8 E-4	<1,5 E-3	<1,6 E-3	<8 E-4	<3,3 E-3	<2,0 E-3	<2,1 E-3	<2,5 E-3	<3,1 E-3	<2,0 E-3

Depósito de actividad en el CAE (Bq/m²)

periodo	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
1° trimestre	<0,2	2,6	<6,5 E-3
2° trimestre	<0,2	2,2	<6,6 E-2
3° trimestre	<0,25	0,9	0,13
4° trimestre	<0,14	0,32	<7,3 E-2

Depósito de actividad en el CAE (Bq/m²)

periodo	cesio 137	cobalto 60	yodo 131
1° trimestre	< 8,2	< 6,2	< 4,6
2° trimestre	< 9,3	< 5,2	< 7,9
3° trimestre	< 9,7	< 3,6	< 7,1
4° trimestre	< 8,7	< 4,2	< 7,1

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

Nota: evaluación realizada por medición de muestras de pasto.

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

periodo	1° trimestre		2° trimestre		3° trimestre		4° trimestre	
	cesio 137	cobalto 60						
5	<1,0	<0,4	<0,8	<0,3	<0,9	<0,4	<0,4	<0,5
6	<0,7	<0,3	<0,7	<0,3	<1,0	<0,3	<0,9	<0,4
7	<0,9	<0,6	<0,6	<0,4	<1,0	<0,4	<0,9	<0,5
8	<0,6	<0,5	<0,9	<0,5	<1,1	<0,4	<1,0	<0,3
9	<0,6	<0,5	<1,0	<0,35	<1,0	<0,6	<1,0	<0,5

Concentración de actividad en sedimentos del arroyo Aguirre (Bq/kg)

periodo	1° trimestre		2° trimestre		3° trimestre		4° trimestre	
	cesio 137	cobalto 60						
5	2,3	<0,4	<0,7	<0,7	1,9	<1,0	1,7	<0,9
6	5,7	2,1	3,9	2,0	6,2	4,0	6,6	20,0
7	13,2	2,3	27,7	5,9	11,4	2,5	3,0	0,9
8	84,6	26,5	32,8	15,1	21,2	14,1	37,3	8,9
9	55,8	11,1	46,3	11,2	43,5	12,3	48,3	13,6

Concentración de actividad en los alimentos de la zona del CAE (Bq/kg)								
período	1° trimestre		2° trimestre		3° trimestre		4° trimestre	
	cesio 137	estroncio 90						
acelga	<0,02	0,1	<0,03	<0,07	<0,03	0,35	<0,03	<0,09
leghuga	<0,02	<0,04	---	---	---	---	<0,03	<0,06
repollo	<0,02	<0,04	<0,02	<0,04	<0,02	<0,03	<0,02	<0,05
berenjena	<0,02	<0,04	<0,01	<0,03	<0,03	<0,02	---	---
radicheta	<0,04	<0,1	<0,04	<0,09	---	---	<0,03	<0,08
puerro	---	---	<0,03	<0,05	<0,02	<0,07	<0,02	<0,06
zapallito	<0,02	<0,02	---	---	---	---	<0,01	<0,03
remolacha	<0,03	<0,07	<0,01	<0,04	---	---	<0,03	<0,07
coliflor	---	---	<0,02	<0,06	---	---	---	---
cebolla de verdeo	---	---	---	---	<0,01	0,1	---	---

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

En el plan de monitoreo efectuado durante el año 1997, se recolectaron 550 muestras y se efectuaron sobre las mismas 1650 determinaciones de los distintos radionucleidos de interés.

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

La dosis en el grupo crítico, obtenida en base a los radionucleidos identificados en las muestras recolectadas, resultó menor que 2×10^{-3} mSv. Este valor se encuentra dos órdenes de magnitud por debajo del límite de dosis para el público (1 mSv).

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

Complejos minero fabriles

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

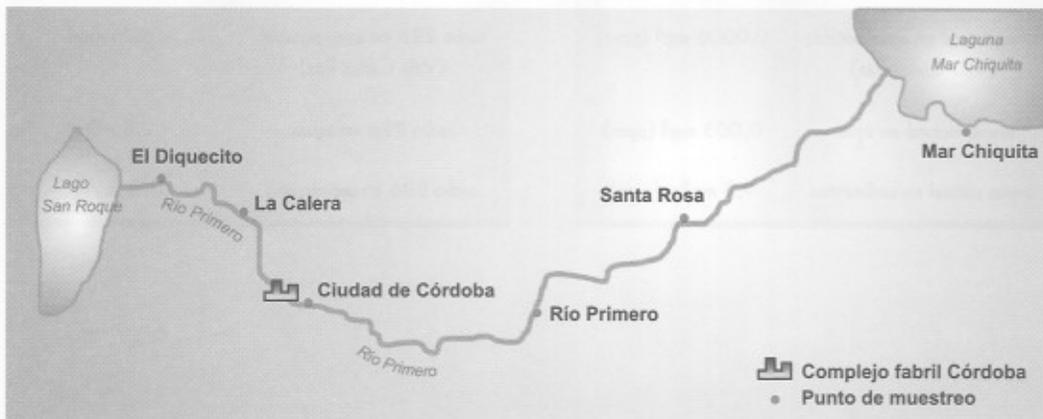
Dado que las vías críticas de llegada al hombre son la ingestión de agua y la inhalación, se llevan a cabo las determinaciones de la concentración de uranio natural y de la actividad de radio 226 en muestras de agua y de la tasa de emanación del gas radón en las escombreras de mineral de uranio, ya que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

Complejo fabril CÓRDOBA

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

El muestreo para evaluar el impacto ambiental debido a la operación de esta instalación, se basa en la toma de muestras de aguas superficiales y sedimentos sobre el río Primero, aguas arriba y abajo de la instalación como puede observarse en la **Figura 26**.

Figura 26



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

Tipo de muestra	Valor promedio
uranio natural en aguas	0,004 mg/l (ppm)
uranio natural en sedimentos	1,3 mg/kg
tasa de emanación de radón	1,9 Bq/m ² .s

Tipo de muestra	Valor promedio
radio 226 en aguas	<3,8 mBq/l
radio 226 en sedimentos	<30,3 Bq/kg

Ex Complejo minero fabril LOS GIGANTES

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

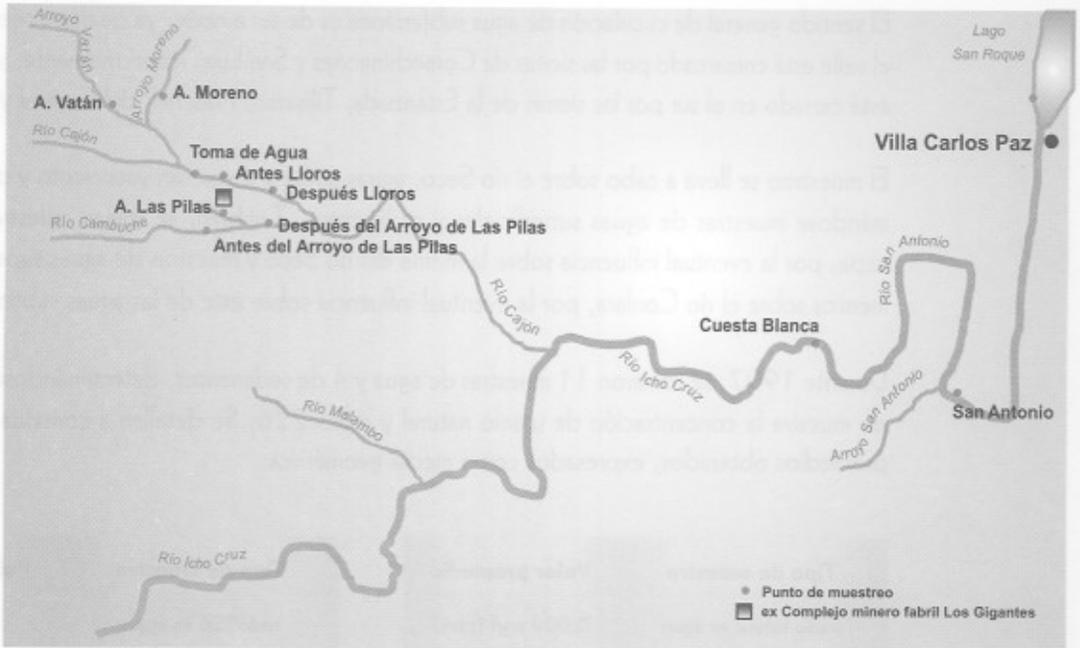
El muestreo ambiental asociado a la instalación se basa, fundamentalmente, en la recolección de muestras de aguas superficiales y sedimentos sobre el curso de los ríos Cajón y Cambuche. Complementariamente, se muestrean los cursos de agua asociados a estos, como los arroyos Vatán y Moreno, y los ríos Icho Cruz y San Antonio. En la **Figura 27**, se muestran esquemáticamente los alrededores del ex Complejo minero fabril Los Gigantes, indicándose los puntos de muestreo.

Durante 1997, se recolectaron 15 muestras de aguas superficiales y una muestra de agua potable en la localidad de Villa Carlos Paz, ya que el embalse del lago San Roque está alimentado por agua proveniente del río San Antonio, que tiene como afluente al río Cajón. Además, se recolectaron 12 muestras de sedimentos, realizándose un total de 56 análisis. Se presentan a continuación los valores promedios obtenidos en las distintas muestras, expresados como media geométrica:

Tipo de muestra	Valor promedio
uranio natural en agua potable (Villa Carlos Paz)	0,0006 mg/l (ppm)
uranio natural en aguas	0,003 mg/l (ppm)
uranio natural en sedimentos	9,7 mg/kg (ppm)

Tipo de muestra	Valor promedio
radio 226 en agua potable (Villa Carlos Paz)	<6,7 mBq/l
radio 226 en aguas	<9,8 mBq/l
radio 226 en sedimentos	198 Bq/kg

Figura 27

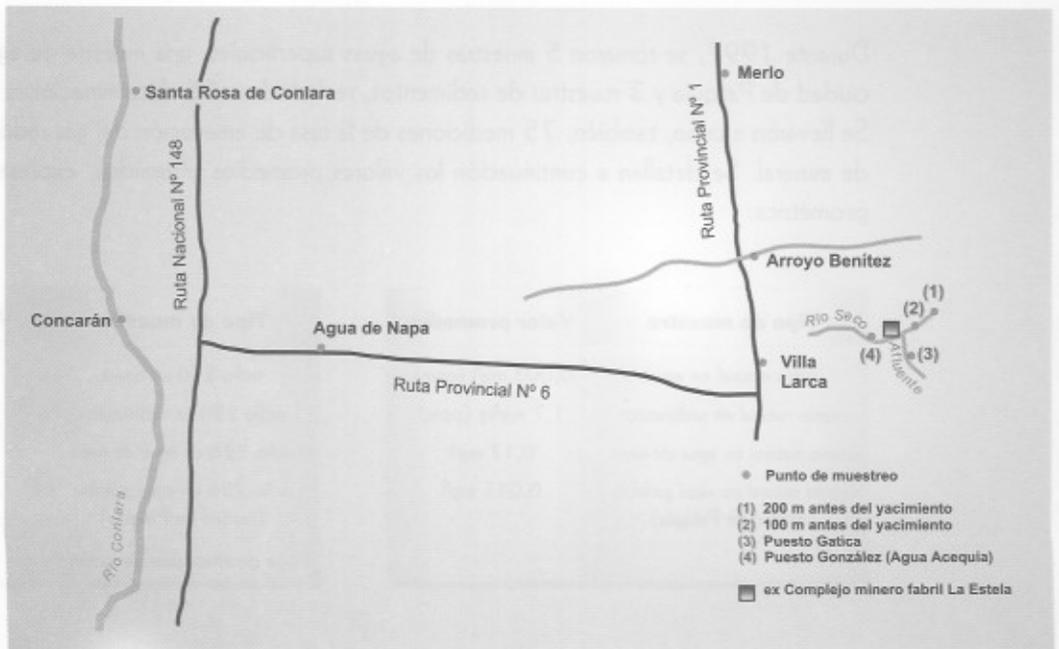


Ex Complejo minero fabril LA ESTELA

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

Por razones topográficas y requerimientos de áreas aptas, la planta de tratamiento de mineral está ubicada a 3000 m en línea recta del sector de mina. El yacimiento La Estela está ubicado, como se indica en la Figura 28, 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 28



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

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

Durante 1997, se tomaron 11 muestras de agua y 4 de sedimentos, determinándose en ambos tipo de muestra la concentración de uranio natural y radio 226. Se detallan a continuación los valores promedios obtenidos, expresados como media geométrica:

Tipo de muestra	Valor promedio
uranio natural en aguas	0,009 mg/l (ppm)
uranio natural en sedimentos	6,0 mg/kg (ppm)

Tipo de muestra	Valor promedio
radio 226 en aguas	< 3,4 mBq/l
radio 226 en sedimentos	114 Bq/kg

Ex Complejo minero fabril LOS COLORADOS

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

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

Durante 1997, se tomaron 5 muestras de aguas superficiales, una muestra de agua potable de la ciudad de Patquía y 3 muestras de sedimentos, realizándose 16 determinaciones sobre las mismas. Se llevaron a cabo, también, 75 mediciones de la tasa de emanación del gas radón en escombreras de mineral. Se detallan a continuación los valores promedios obtenidos, expresados como media geométrica:

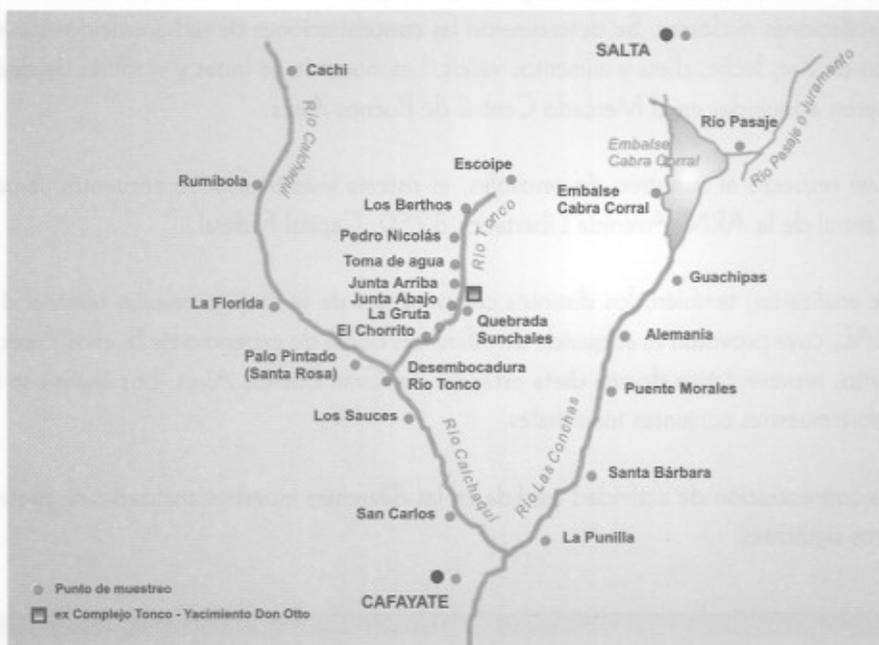
Tipo de muestra	Valor promedio
uranio natural en aguas	0,003 mg/l (ppm)
uranio natural en sedimentos	1,7 mg/kg (ppm)
uranio natural en agua de napa	0,17 mg/l
uranio natural en agua potable (ciudad de Patquía)	0,015 mg/l

Tipo de muestra	Valor promedio
radio 226 en aguas	< 5,4 mBq/l
radio 226 en sedimentos	23,3 Bq/kg
radio 226 en agua de napa	0,14 mBq/l
radio 226 en agua potable (ciudad de Patquía)	< 2,2 mBq/l
tasa de emanación de radón	0,96 Bq/m ² .s

Ex Complejo minero fabril TONCO

El ex Complejo minero fabril Tonco comenzó su actividad en abril de 1964, finalizando la misma en el año 1981. Está ubicado, como se indica en la **Figura 29**, 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 M.M. de Güemes. El monitoreaje ambiental consiste, 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 29



Durante 1997, se tomaron 22 muestras de aguas superficiales y 24 muestras de sedimentos, realizándose 92 determinaciones sobre las mismas. Se llevaron a cabo, también, 86 mediciones de la tasa de emanación del gas radón en escombreras de mineral. Se detallan a continuación los valores promedios obtenidos, expresados como media geométrica:

Tipo de muestra	Valor promedio
uranio natural en aguas	0,018 mg/l (ppm)
uranio natural en sedimentos	2,3 mg/kg

Tipo de muestra	Valor promedio
radio 226 en aguas	<4,2 mBq/l
radio 226 en sedimentos	43,0 Bq/kg
tasa de emanación de radón	12,7 Bq/m ³ .s

Conclusiones

En base a los valores medidos sobre las muestras obtenidas durante el monitoreaje ambiental, en los alrededores de las diferentes complejos minero-fabriles, se concluye que no se observan diferencias estadísticamente significativas entre los niveles determinados aguas arriba y aguas abajo de las instala-

ciones. Por otra parte, los valores medidos se encuentran muy por debajo de los valores de referencia para agua aceptados por la Autoridad Regulatoria Nuclear: 1,0 mg/l (ppm) para uranio natural y 180 mBq/l para radio 226.

MONITORAJE AMBIENTAL NO RELACIONADO CON LAS INSTALACIONES NUCLEARES

Fuentes artificiales

Con el propósito de estudiar la precipitación radiactiva presente, debido al ensayo de armas nucleares en la atmósfera realizadas en el pasado, se realizan muestreos fuera de la zona de influencia de las instalaciones nucleares. Se determinaron las concentraciones de radionucleidos de interés en muestras de aire, leche, dieta y alimentos varios. Las muestras de frutas y verduras de diferentes especies fueron adquiridas en el Mercado Central de Buenos Aires.

Con respecto al muestreo de aerosoles, el sistema muestreador se encuentra ubicado en la Sede Central de la ARN, Avenida Libertador 8250, Capital Federal.

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

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

Concentración de actividad en muestras de aerosoles en aire ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)			
período	cesio 137	período	cesio 137
enero	<3,5	julio	<5,3
febrero	<2,9	agosto	<4,4
marzo	<4,8	setiembre	<4,2
abril	<5,1	octubre	<4,1
mayo	<3,3	noviembre	<5,2
junio	<3,4	diciembre	<4,8

Concentración de actividad en leche (Bq/l)		
período	cesio 137	estroncio 90
1° trimestre	<0,01	<0,05
2° trimestre	<7,0 E-3	<0,03
3° trimestre	<8,2 E-3	<0,04
4° trimestre	<0,013	<0,05

Concentración de actividad en muestras de dieta (Bq/kg)		
período	cesio 137	cobalto 60
1° trimestre	<0,03	<0,09
2° trimestre	<0,07	<0,17
3° trimestre	<0,03	<0,08
4° trimestre	<0,03	<0,16

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

período	1° trimestre		2° trimestre		3° trimestre		4° trimestre	
	cesio 137	estroncio 90						
papa	<0,03	<0,07	<0,03	<0,06	<0,03	<0,06	<0,03	0,1
batata	<0,06	0,13	---	--	<0,04	<0,08	<0,03	<0,09
zanahoria	<0,02	<0,03	<0,03	<0,03	<0,02	<0,03	<0,04	<0,07
calabaza	<0,04	<0,06	---	---	<0,02	<0,07	<0,02	<0,07
cebolla	<0,01	<0,03	<0,02	<0,03	<0,02	<0,03	<0,02	<0,03
naranja	<0,02	<0,05	<0,02	<0,04	<0,06	0,24	<0,04	<0,01
zapallito	<0,01	<0,03	<0,02	<0,07	---	---	<0,02	<0,03
pimiento	<0,03	<0,04	<0,02	---	<0,01	<0,02	<0,02	<0,03
pera	<0,01	<0,02	---	---	<0,01	<0,02	---	---
durazno	<0,04	<0,04	---	---	---	---	<0,02	<0,09
acelga	<0,06	<0,1	<0,02	<0,1	---	---	<0,02	<0,06
manzana	---	---	<0,02	<0,03	<0,01	<0,01	<0,009	<0,02
tomate	---	---	<0,02	<0,043	<0,01	<0,05	<0,02	<0,07
remolacha	---	---	<0,02	<0,06	---	---	<0,034	<0,09
lechuga	---	---	<0,02	<0,008	---	---	---	---
pomelo	---	---	<0,02	0,11	<0,01	0,1	---	0,1
chaucha	---	---	<0,03	<0,1	---	---	---	---
berenjena	---	---	<0,04	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05
mandarina	---	---	<0,02	0,1	---	---	<0,012	0,4
banana	---	---	---	---	<0,01	<0,05	<0,03	<0,06
limón	---	---	---	---	<0,02	<0,04	---	---
kiwi	---	---	---	---	---	---	<0,02	<0,05
espinaca	---	---	---	---	---	---	<0,025	0,1
repollo	---	---	---	---	---	---	<0,025	<0,03

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

Fuentes naturales: medición de radón en viviendas

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

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

El radón fluye del suelo en todas partes de la Tierra, pero sus niveles en el ambiente varían mucho de un lugar a otro. Las concentraciones de radón en el interior de los edificios son, en promedio, unas 8 veces superiores a las existentes en el exterior. Si bien los materiales de construcción contienen 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. Durante 1997, el Laboratorio de mediciones de radón, colocó 460 monitores para la medición del gas radón, en diversas ciudades de Argentina.

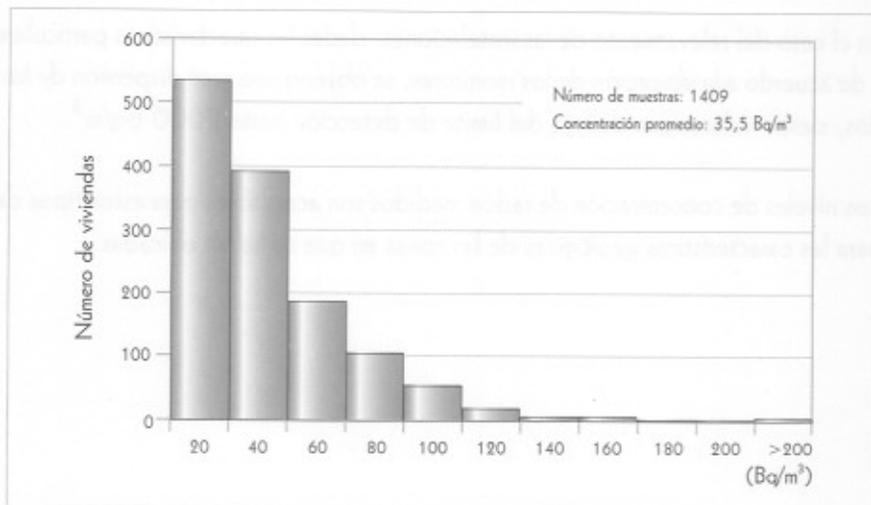
A continuación se indican las localidades del país donde se efectuaron las mediciones de radón y las características geológicas de la zona:

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

En la **Figura 30** se observa la distribución de la concentración de radón en viviendas, por rango de actividad.

Concentración de radón en viviendas		
Lugar de muestreo	Número de muestras	Valor promedio (Bq/m ³)
Corrientes (Corrientes)	124	43,2
San Luis (San Luis)	163	30,6
General Alvear (Mendoza)	106	47,2
Malargüe (Mendoza)	141	40,8
San Rafael (Mendoza)	267	34,2
Capital Federal y Gran Buenos Aires	288	27,4
Córdoba (Córdoba)	94	16,0
Mendoza (Mendoza)	11	37,2
Rosario (Santa Fe)	61	36,2
Río Hondo y Frías (Santiago del Estero)	66	28,1
Bariloche (Río Negro)	18	35,5
Esquel, Gastre, Puerto Madryn y Rawson (Chubut)	70	28,0

Figura 30



El valor medio de la concentración de radón, considerando las 1409 viviendas monitoreadas, desde 1983 hasta 1997 en todo el país, resultó ser de 35,5 Bq/m³.

Cabe recordar que la Norma Básica de Seguridad Radiológica establece que, cuando la concentración promedio anual de radón en el interior de las viviendas exceda los 400 Bq/m³, se deben adoptar medidas para reducir la concentración del gas radón, como, por ejemplo, ventilar los ambientes.

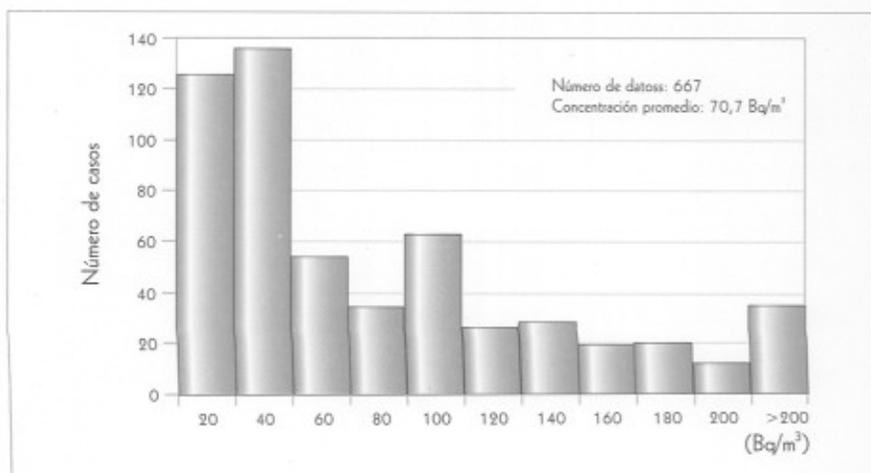
Del análisis de los resultados obtenidos se observa que los valores promedios de las distintas ciudades argentinas no superan los 50 Bq/m³, encontrándose solamente muy pocos valores individuales por encima de 200 Bq/m³ y ninguno supera 400 Bq/m³.

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

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

En la Figura 31, se observa la distribución de la concentración de radón en muestras obtenidas en las instalaciones relacionadas con el ciclo de combustible nuclear y sus alrededores, por rango de actividad.

Figura 31



En el caso del relevamiento de las instalaciones, dadas las características particulares de cada lugar y de acuerdo a la ubicación de los monitores, se observa una gran dispersión de los valores obtenidos, desde valores por debajo del límite de detección hasta 2000 Bq/m^3 .

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