

VIGILANCIA RADIOLÓGICA OCUPACIONAL Y AMBIENTAL

La protección de las personas contra los efectos nocivos de la radiación ionizante ha existido desde la década de 1920. Desde entonces, diferentes recomendaciones han sido desarrolladas por varios organismos internacionales; en particular durante la realización del primer Congreso Internacional de Radiología, Londres 1925, se creó la ahora denominada Comisión Internacional de Mediciones y Unidades de Radiación (ICRU, sigla en inglés) y, en ocasión del segundo, Estocolmo 1928, la ahora llamada Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, sigla en inglés).

La Asamblea General de las Naciones Unidas decidió crear en 1955, a raíz de los ensayos de armas nucleares que, durante el período 1950-1956 realizaron los EE. UU., la URSS y el Reino Unido, el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de Efectos de las Radiaciones Atómicas, conocido generalmente por las siglas de su nombre en inglés, UNSCEAR.

Los trabajos de investigación realizados por entonces en nuestro país hicieron posible obtener el conocimiento y la experiencia necesarios para definir una política de protección radiológica para los trabajadores, el público y el ambiente, mucho antes de que se utilizaran en la Argentina 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 ICRP.

El sistema de limitación de dosis recomendado por la ICRP en el año 1977 en su Publicación N° 26 condujo a un profundo cambio de mentalidad en protección radiológica, al mismo tiempo que aumentó significativamente el grado de pretensión en términos de seguridad radiológica aplicado hasta ese momento. Limitar la dosis de las personas más expuestas dejó de ser el objetivo fundamental de la protección para transformarse en una condición necesaria pero no suficiente a cumplir. En efecto, evitar cualquier dosis innecesaria por pequeña que fuere -justificación- y mantener las dosis tan bajas como sea razonable teniendo en cuenta aspectos económicos y sociales -optimización-, son dos conceptos trascendentes enfatizados en el sistema de limitación de dosis aludido, y que fueron incorporados a las normas regulatorias argentinas a fines de la década del '70.

Rápidamente se observó que las dosis máximas resultantes de la operación de instalaciones diseñadas con estos criterios resultaban ser -en la mayoría de los casos prácticos y en virtud del principio de optimización- significativamente inferiores a los valores fijados en los límites de dosis. La introducción del criterio de optimización en el diseño de las nuevas instalaciones hizo que las dosis recibidas por los trabajadores y el público disminuyeran por un factor 10 o más, en la mayoría de los casos.

A partir del año 1991, la ICRP formuló nuevas recomendaciones (Publicación N° 60) sobre protección radiológica que si bien mantienen los criterios básicos contenidos en el sistema de limitación de dosis presentado en 1977, recomiendan una reducción significativa de los límites de dosis, la aplicación de restricciones de dosis, el análisis de las exposiciones potenciales y la aplicación de niveles de intervención para emergencias, que tienen implicancias directas en el diseño y operación de las instalaciones nucleares.

Las nuevas recomendaciones de la ICRP marcan una evolución en el conocimiento de los efectos de la radiación, a bajas dosis y bajas tasas de dosis, como consecuencia de un mejor conocimiento de la dosimetría relacionada con los bombardeos atómicos a Hiroshima y Nagasaki, de un incremento importante en la cantidad de datos epidemiológicos disponibles en los últimos años y de los progresos obtenidos en la interpretación de los mecanismos de la oncogénesis.

En nuestro país, la "Norma Básica en Seguridad Radiológica" AR 10.1.1., aprobada en mayo de 1995, ha incorporado las recomendaciones citadas en los párrafos precedentes. Éstas ya habían sido introducidas gradualmente en Argentina, país pionero en la materia, desde inicios de los años 90.

Las recomendaciones actuales definen una "práctica" como toda actividad humana que puede resultar en una exposición a la radiación aumentada a un individuo. Los límites están fijados para la exposición derivada de cualquier práctica dada, tanto para los trabajadores como para el público. Las prácticas médicas no están sujetas a tales límites, pero las exposiciones deben ser tan bajas como sea factible, coherente con la necesidad médica.

FUENTES DE RADIACIÓN

La mayor parte de la radiación recibida por la población del mundo proviene principalmente de fuentes naturales, siendo inevitable la exposición a la mayoría de ellas. Durante las últimas décadas, el hombre ha producido artificialmente radionucleidos y ha aprendido a utilizar la energía nuclear con diferentes propósitos, tales como la 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.

FUENTES NATURALES

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

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

Radiación cósmica

La radiación cósmica que llega a las capas superiores de la atmósfera de la Tierra proviene de más allá del sistema solar e incluso de más allá de nuestra galaxia; solo una fracción pequeña proviene del sol. Consiste, principalmente en: protones, partículas alfa, núcleos pesados, electrones y radiación gamma.

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

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

Radiación terrestre

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

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

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

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

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

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

FUENTES ARTIFICIALES

Los usos de la radiación y de los materiales radiactivos se han extendido enormemente, en particular desde el descubrimiento y desarrollo de la fisión nuclear y la disponibilidad de una extensa variedad de radionucleidos artificiales. Muchas personas se han beneficiado de una u otra manera, con los

usos de las fuentes artificiales de radiación, como por ejemplo, con los usos médicos, la producción de energía eléctrica, la industria manufacturera, el control en la agricultura. Pero todos estos usos producen exposiciones a la radiación.

Exposición en medicina

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

La radiación es utilizada tanto para diagnosticar como para tratar enfermedades. En la mayoría de los países industrializados las radiografías de diagnóstico son la forma de irradiación más común. El uso de radioisótopos para estudiar procesos en el cuerpo humano y para localizar tumores ha aumentado mucho durante los últimos 30 años. La radiación es, también, uno de los medios fundamentales para combatir el cáncer.

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

Precipitación radiactiva debida a explosiones nucleares

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

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

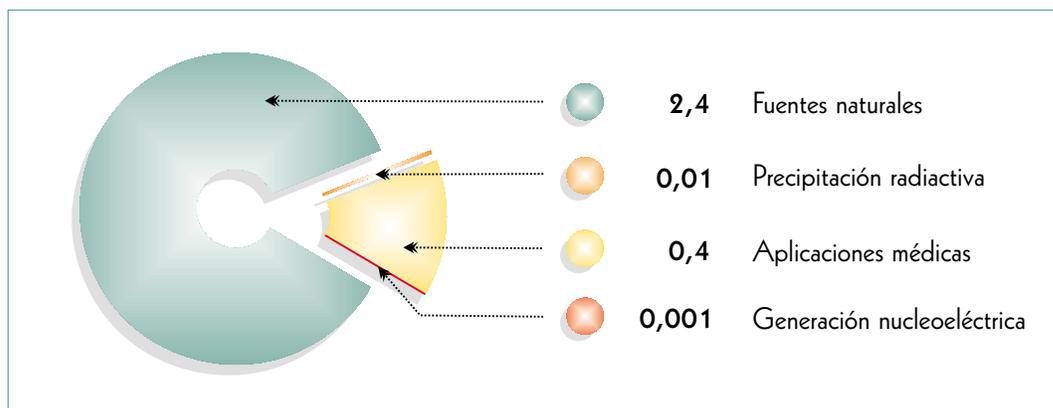
Producción de energía eléctrica

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

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

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

Figura 1 - Dosis efectiva media anual (mSv)



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 ARN 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 ARN 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 equivalente efectiva anual debida a la exposición externa y la dosis equivalente efectiva comprometida debida a la incorporación dentro del cuerpo de material radiactivo en ese año.

La Autoridad Regulatoria 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 -cercanas 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.

En el Sumario del presente Informe se detallan las dosis ocupacionales y recibidas por el público debido al funcionamiento de los reactores nucleares e instalaciones relevantes durante 1999.

MONITORAJE AMBIENTAL

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

- ✓ Centrales nucleares Atucha I y Embalse.
- ✓ Centro Atómico Ezeiza.
- ✓ Complejo minero fabril San Rafael.
- ✓ Planta de conversión de dióxido de uranio.
- ✓ Ex Complejos minero fabriles Malargüe, Pichinán, Los Gigantes, La Estela, Tonco y Los Colorados.

La ubicación geográfica de las instalaciones monitoreadas se indica en la **Figura 2**.

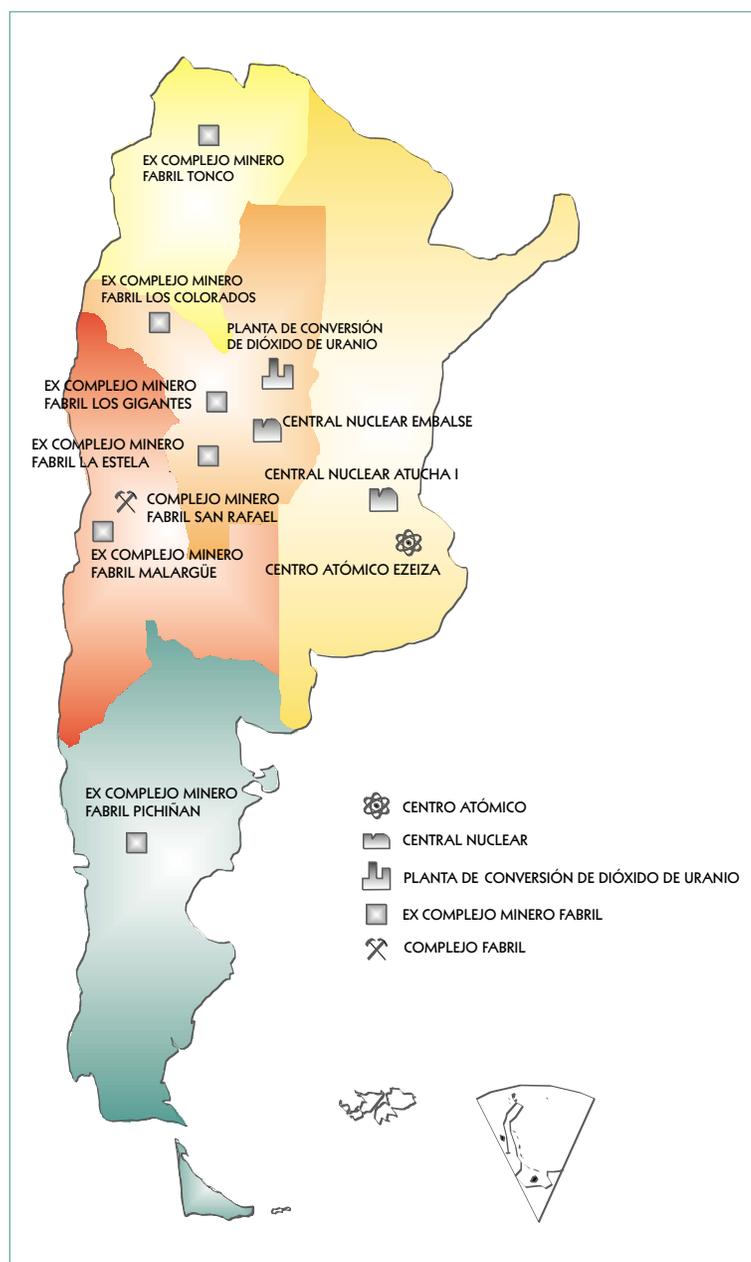


Figura 2
Instalaciones bajo control ambiental

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

MONITOREAJE 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.

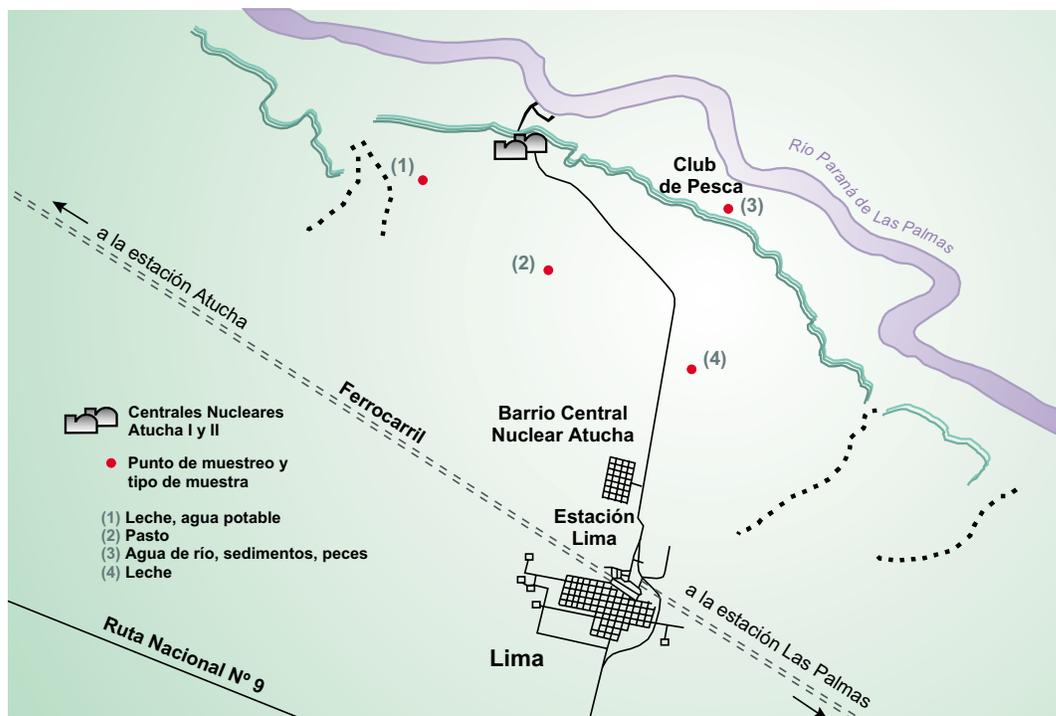
En la **Figura 3** se presenta la ubicación de los puntos de muestreo rutinario ambiental en los alrededores de la CNA I.

Se toman muestras representativas de los diferentes compartimentos 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 monitoreaje 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 de la CNA I.

Figura 3
Alrededores de la Central Nuclear Atucha I

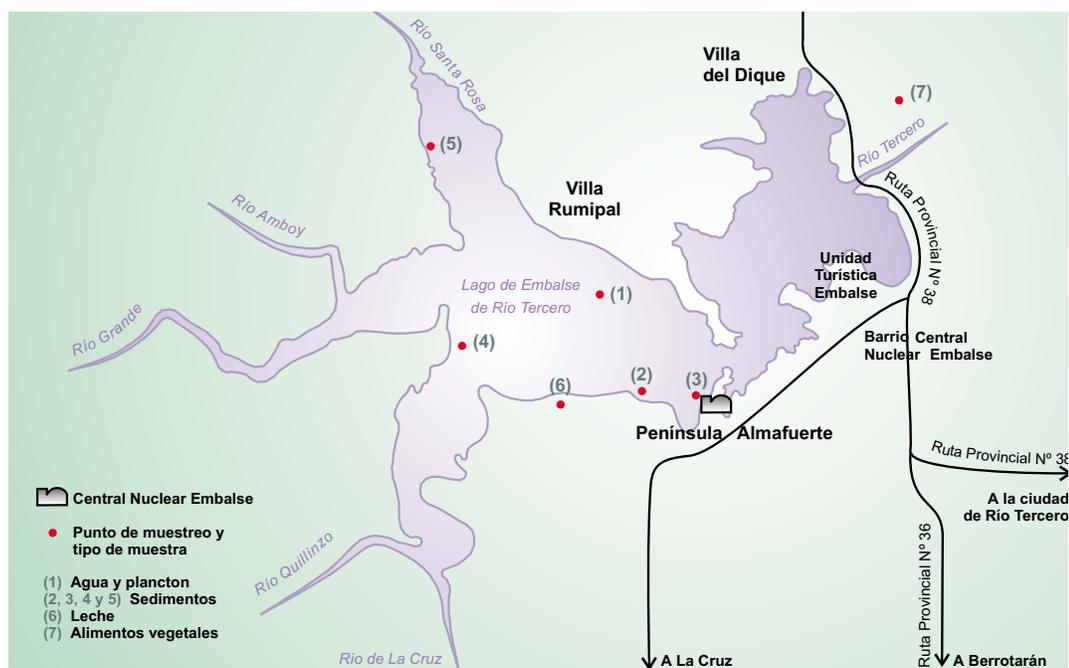


Central Nuclear Embalse

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

Figura 4 - Alrededores de la Central Nuclear Embalse



Para evaluar el impacto ambiental de las descargas líquidas, se 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.

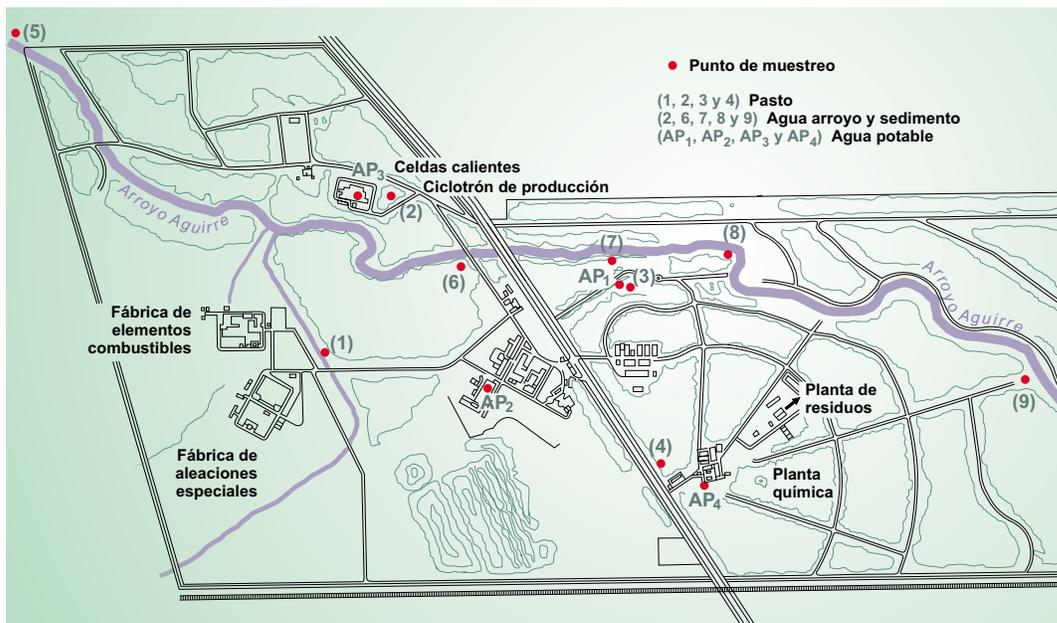
Centro Atómico Ezeiza

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 e investigación; la Planta de producción de radioisótopos para uso médico e industrial; la Fábrica de fuentes encapsuladas de cobalto 60; la Planta de producción de molibdeno 99 por fi-

sión; la Planta de residuos radiactivos de baja actividad y la Fábrica de elementos combustibles nucleares (CONUAR S.A.).

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

Figura 5 - 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 5).

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.

Complejos minero fabriles de uranio

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

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

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

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

Complejo minero fabril SAN RAFAEL

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

El muestreo ambiental asociado a la operación de la instalación se lleva a cabo sobre el arroyo Tigre y el río Diamante, efectuándose la toma de muestras de aguas y sedimentos, aguas arriba y abajo de la instalación. En la **Figura 6** se presentan los cursos de agua y la ubicación de los puntos de muestreo.

Figura 6 - Alrededores del complejo minero fabril San Rafael



Ex complejo fabril MALARGÜE

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

Figura 7 - 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

aflorescimiento definitivo en la laguna Llanquanelo. Paralelamente se toman muestras de aguas superficiales y sedimentos sobre el río Malargüe, el arroyo Mocho, el arroyo El Chacay y otros, que llevan sus aguas hasta la laguna (ver **Figura 7**). También, se determina la tasa de emanación de radón en las escombreras de mineral de uranio.

Ex complejo minero fabril PICHINÁN

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 se procesó mineral proveniente del yacimiento "Los Adobes", ubicado a 40 km al norte del complejo, y posteriormente del yacimiento "Cerro Cóndor" ubicado a 35 km al noroeste del complejo.

El muestreo correspondiente a esta instalación se lleva a cabo a lo largo del río Chubut, prácticamente desde su nacimiento hasta su desembocadura en el océano Atlántico, como se indica en la **Figura 8**.

Figura 8 - Alrededores del ex complejo minero fabril Pichiñán



Complejo fabril CÓRDOBA

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

El muestreo para evaluar el impacto ambiental debido a la operación de esta instalación, se basa en la toma de muestras de aguas superficiales y sedimentos sobre el río Primero, aguas arriba y abajo de la instalación como puede observarse en la **Figura 9**.

Figura 9 - Alrededores del complejo fabril Córdoba



Ex complejo minero fabril LOS GIGANTES

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

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

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

Figura 10 - Alrededores del ex complejo minero fabril Los Gigantes



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 N° 1, a 500 m hacia el norte de Villa Larca y a 30 km al sur de Merlo.

Por razones topográficas y requerimientos de áreas aptas, la planta de tratamiento de mineral está ubicada a 3000 m en línea recta del sector de mina. El yacimiento La Estela está ubicado, como se indica en la **Figura 11**, sobre la margen izquierda del río Seco, aproximadamente a 1200 m sobre el nivel del mar, en el faldeo occidental de la sierra de Comechingones.

Figura 11 - Alrededores del ex complejo minero fabril La Estela



El 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 12**. La instalación operó, fundamentalmente, con mineral proveniente del yacimiento Don Otto y, en menor escala con mineral de los yacimientos Los Berthos, Pedro Nicolás y M.M. de Güemes. El monitoreaje ambiental se basa, fundamentalmente, en la recolección de muestras de aguas superficiales y sedimentos. Debido a las características climatológicas de la zona los cursos de agua en gran parte del año se encuentran secos, hecho por el cual el muestreo se ve limitado.

Figura 12 - Alrededores del ex complejo minero fabril Tonco



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 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 y Rawson (Chubut)
Capital Federal y Gran Buenos Aires	Cosquín (Córdoba)
Córdoba (Córdoba)	

En el Sumario del presente Informe se presentan los resultados del monitoreo ambiental realizado por la ARN durante 1999 en los alrededores de las centrales nucleares Atucha I y Embalse, del Centro Atómico Ezeiza y del complejo minero fabril San Rafael y de los excomplejos Malargüe, Córdoba, Los Gigantes y La Estela. Asimismo, se presentan los resultados del monitoreo ambiental no relacionado con instalaciones nucleares.

DOSIS EN LA POBLACIÓN

En la mayoría de los casos no es posible determinar por medio de mediciones directas en el ambiente o en el hombre, la dosis que recibe la población como consecuencia de la exposición a la radiación ambiental. Para ello resulta necesario utilizar modelos que representen el transporte de los radionucleidos a través del ambiente hasta el hombre.

La cadena de acontecimientos que tiene lugar desde la emisión de material radiactivo al ambiente hasta su llegada al hombre se representa mediante una serie de compartimentos relacionados entre sí por parámetros de transferencia. El Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (en inglés, UNSCEAR) ha desarrollado y adoptado, para estimar las dosis en la población, modelos de compartimentos en condiciones de equilibrio.

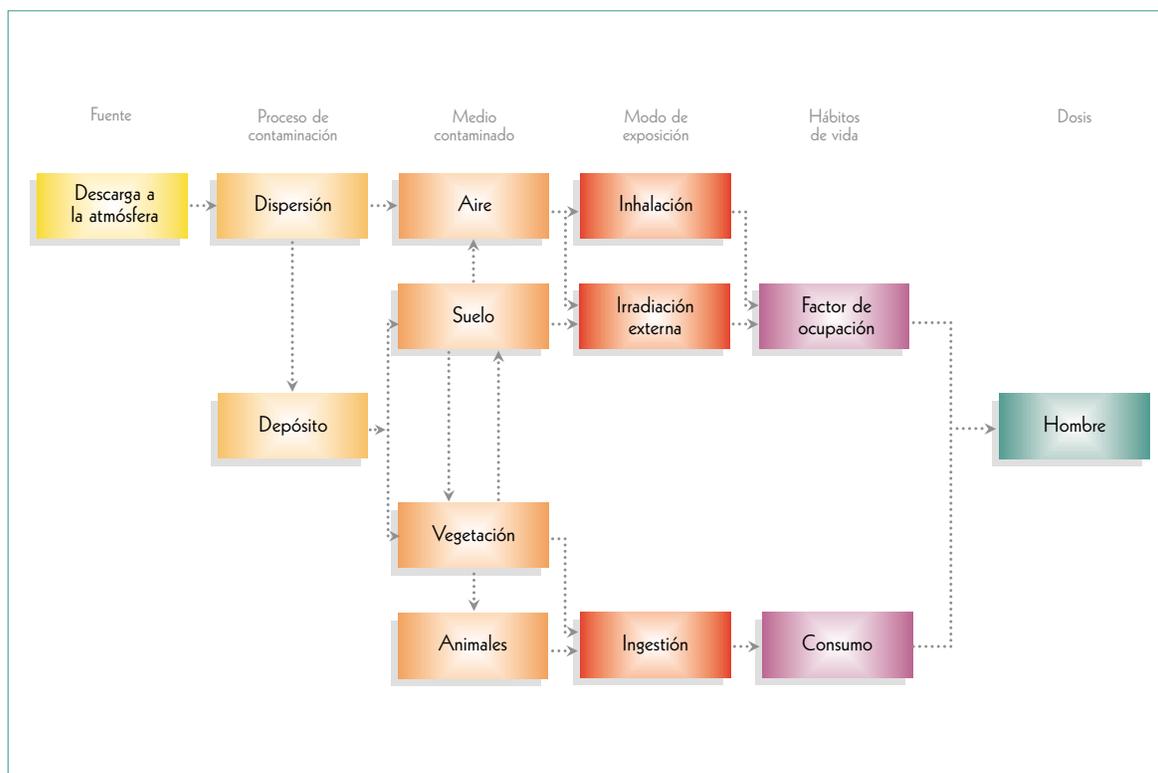
El material radiactivo descargado al ambiente se dispersa y se diluye en la atmósfera y en los cuerpos de agua. En la **Figura 13**, se representan a modo de ejemplo, las vías críticas de exposición del hombre debido a la descarga de radionucleidos en la atmósfera.

La Autoridad Regulatoria Nuclear utiliza los modelos de compartimentos en condiciones de equilibrio para estimar las dosis en la población debido a la operación de instalaciones radiactivas y nucleares, y los modelos globales desarrollados por el UNSCEAR, para los radionucleidos de distribución mundial.

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

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

Figura 13
Vías críticas de exposición debidas a la descarga de radionucleidos en la atmósfera



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

En el sumario de este Informe se presentan las dosis recibidas en la población debidas a las descargas de material radiactivo al ambiente, como así también los resultados del monitoraje ambiental realizado por la ARN.