

ANEXO 4A

FUENTES DE EXPOSICIÓN

INTRODUCCIÓN

Las radiaciones ionizantes aportan significativos beneficios a la sociedad, en áreas tan diversas como, por ejemplo, la medicina, la generación de energía eléctrica, la industria y la agricultura. No obstante, estos beneficios, para ser aceptables, no deben implicar riesgos que excedan los normalmente admitidos en la vida diaria.

Las radiaciones ionizantes -de no tomarse precauciones adecuadas- pueden provocar efectos nocivos sobre la salud de las personas que se exponen a ellas, efectos que son de dos tipos y que se denominan determinísticos y estocásticos.

El proceso de ionización produce cambios en átomos y moléculas. En las células, algunos de los cambios iniciales pueden tener consecuencias a corto y a largo plazo. Si ocurre daño celular y éste no se repara correctamente, la célula puede ser incapaz de

sobrevivir o de reproducirse, o convertirse en una célula capaz de reproducirse, pero modificada. Estos resultados tienen consecuencias diferentes para el organismo en su conjunto.

La función de la mayoría de los órganos y tejidos del cuerpo humano no es afectada por la pérdida de pequeñas cantidades de células, y a veces ni siquiera por la pérdida de un número considerable de las mismas; pero si el número de células perdidas es lo suficientemente grande y tales células son, a su vez, bastante importantes, hay una lesión observable, que se manifiesta en una pérdida de función del tejido. La probabilidad de causar tal lesión es cero a dosis pequeñas de radiación, pero por encima de cierto nivel de dosis - denominado umbral- aumenta abruptamente hasta llegar a la unidad. Por encima del umbral, la gravedad de la lesión también aumenta en relación con la dosis. Este tipo de efecto se llama determinístico, porque si la dosis es suficientemente alta ocurre con seguridad. Si la pérdida de células puede compensarse por repoblación, el efecto es relativamente leve.

El resultado es muy diferente si la célula irradiada -en vez de morir- sufre una modificación. En este caso puede producir un "clon" de células hijas modificadas. El organismo tiene varios mecanismos de defensa muy eficaces, pero no es realista esperar que siempre sean totalmente efectivos. De esta manera, el clon de células producido por una célula somática modificada -pero capaz de reproducirse- puede causar, después de un período prolongado y variable, llamado el período de latencia, una enfermedad maligna. Su probabilidad de ocurrencia -pero no la gravedad- aumenta con la dosis. Este tipo de efecto se llama **estocástico**, que significa de carácter aleatorio o estadístico.

La radiación ionizante siempre estuvo presente en el ambiente, y el hombre ha estado expuesto a ella desde sus orígenes. La radiación proviene, principalmente, de fuentes naturales -como los rayos cósmicos y los materiales radiactivos presentes en la corteza terrestre- y, en menor medida, de fuentes artificiales, tales como las aplicaciones de radioisótopos en medicina e industria, la generación de energía nucleoelectrónica y los ensayos de armas nucleares que desde 1945 y hasta 1980 se efectuaron en la atmósfera. Ambas fuentes de radiación -naturales y artificiales- coexisten y constituyen el origen de la dosis de radiación que reciben todos los seres vivos sobre la Tierra.

MODELOS AMBIENTALES

No es posible, en la mayoría de los casos, determinar por medio de mediciones directas en el ambiente o en el hombre, las dosis debidas a la exposición a la radiación ambiental recibidas por la población. Para ello, es necesario utilizar modelos que repre-

sentan el transporte de los radionucleidos desde el ambiente hasta el hombre.

MODELOS DE TRANSPORTE DE RADIONUCLEIDOS EN EL AMBIENTE

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 compartimientos, relacionados entre sí por parámetros de transferencia. Los parámetros son constantes en el tiempo y a los modelos se los llama de compartimientos en condiciones de equilibrio. Estos modelos han sido adoptados por el UNSCEAR (1)(2)(3) para evaluar las dosis recibidas por la población y son los utilizados por el ENREN en Argentina, tal como en otros países.

PARÁMETROS DE TRANSFERENCIA

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

En las **tablas 1 y 2** se presentan parámetros de transferencia medidos en la Argentina (4).

TABLA 1
Parámetros de transferencia entre el depósito
en pasturas y la leche para el yodo 131

Año	Concentración integrada en leche (L) Bq d / l	Depósito (D) MBq / km ²	L / D Bq d km ² / MBq l
1962	165	740	0,22
1966	1000	5128	0,20
1967	161	610	0,26
1968	92	333	0,28
1970	169	707	0,24
1971	154	751	0,21
1972	259	988	0,26
1973	64	296	0,22
1974	314	1162	0,27
Promedio			0,24

TABLA 2
Factores de concentración de cesio 137
en biota de agua dulce

Especies	Experiencia en el ambiente acuático		
	Concentración integrada		Factor de concentración B / A
	Agua (A) Bq d / l	Biota (B) Bq d / kg	
Peces			
Asiphonichthys arenopterus	82	27 106	330
Cheirodon interruptus	82	28 831	352
Cichlasoma facetum	82	39 920	487
Cnestorodon decennaculatus	82	21 767	265
Pinelodus clarias	82	30 556	372
Plecostomus commersoni	82	20 946	255
Curimata sp.	82	37 045	452
Moluscos			
Ampullaria insularum	82	26 285	320
Diplodon sp.	82	40 249	490
Biomphalaria sp.	68	39 949	590
Plantas			
Lemma polyhiza	68	4469	66
Ceratophyllum demersum	68	9209	135
Bacopa monieri	68	4198	62

VÍAS CRÍTICAS DE EXPOSICIÓN DEL HOMBRE

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. A modo de ejemplo, a continuación se tratan las vías de exposición del hombre debidas a la liberación de dichos materiales en la atmósfera.

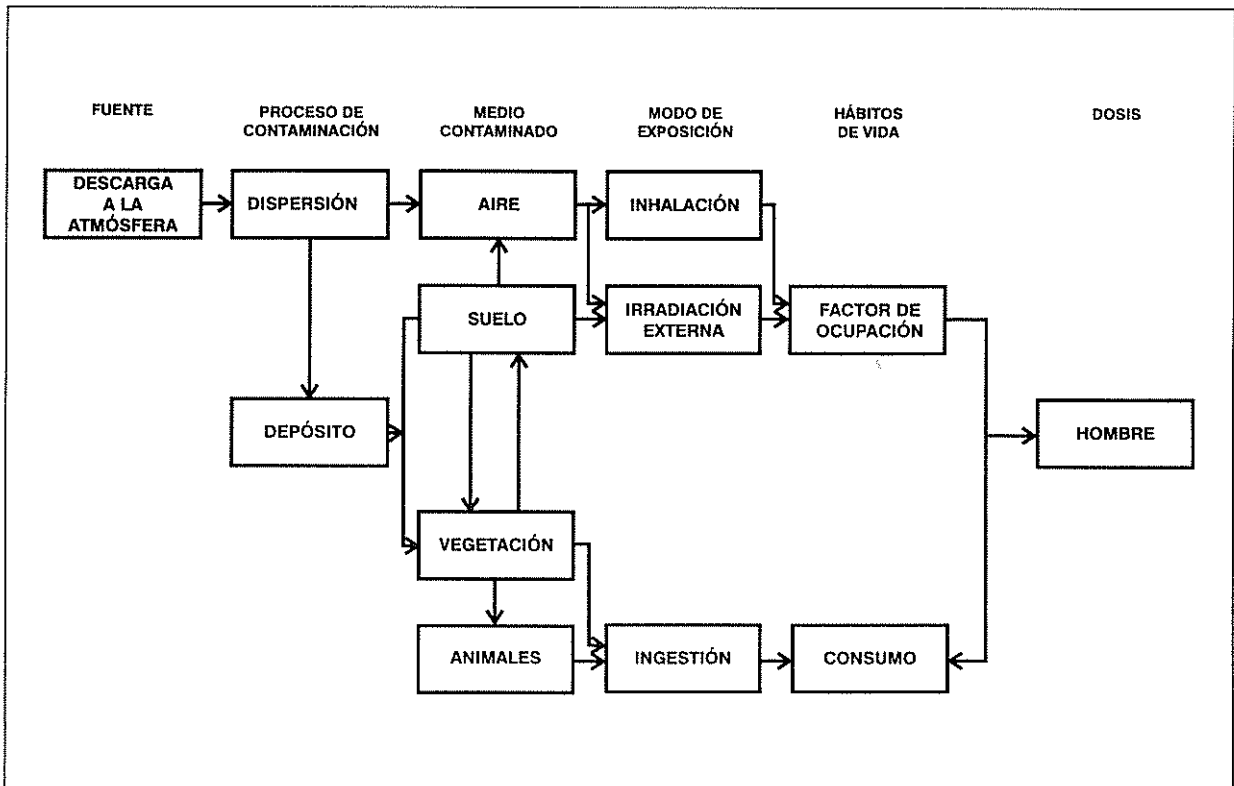
El modelo para evaluar el transporte de radionucleidos en la atmósfera, a escala local y regional, es el de una pluma de forma gaussiana estacionaria, con parámetros de dispersión basados en la clasificación de Pasquill sobre la estabilidad atmosférica. Para los radionucleidos cuya dispersión es mundial,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

Dada una liberación de material radiactivo en la atmósfera, éste se traslada como una nube o penacho. En dicha circunstancia, las vías principales de exposición son: irradiación externa por el material contenido en la nube e irradiación interna debida a la inhalación.

Posteriormente, los radionucleidos se depositan, en el transcurso del tiempo, sobre el terreno, exponiendo al hombre por tres vías importantes: irradiación externa por el material depositado, contaminación interna por inhalación del material resuspendido, y por ingestión de alimentos que han incorporado dicho material del terreno.

En la **figura 1** se representan las vías críticas de exposición del hombre para radionucleidos liberados a la atmósfera.

figura 1 - Vías críticas de exposición en descargas atmosféricas



Vías de irradiación externa

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 decayendo 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).

Vías de irradiación interna

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 radionucleidos en el aire y de la actividad depositada en las superficies de interés. El paso siguiente es el análisis de la transferencia de los radionucleidos hasta el hombre.

Los radionucleidos son transferidos a distintos compartimientos antes de ser incorporados. En el caso del yodo, como se mencionó anteriormente, éste es transferido desde el aire al suelo (por depósito), y de éste al pasto; a su vez, el ganado alimentado con este pasto producirá leche contaminada que, finalmente, podrá ser consumida por el hombre.

RADIACIÓN NATURAL

La mayor parte de la radiación recibida por la población del mundo proviene de fuentes naturales. Este tipo de exposición es, en la mayoría de los casos, inevitable. La superficie de la Tierra, desde los orígenes del planeta, ha estado afectada por radiación proveniente del espacio exterior y de los materiales radiactivos constituyentes de la corteza terrestre.

Aunque todos los seres humanos están expuestos a la radiación natural, algunos lo están más que otros. Ello depende del lugar donde vivan; en zonas con rocas o suelos particularmente radiactivos, las dosis llegan a ser 20 veces mayores que los valores medios. La dosis también depende de la forma de vida de la población; la utilización de determinados materiales de construcción en sus viviendas, el cocinar con gas natural, el uso de calefacción con hogares a carbón y la aislación térmica de los ambientes. También los viajes en avión aumentan la exposición a la radiación natural. En la **tabla 3** se presenta la contribución de las distintas fuentes de radiación natural, a la dosis recibida por la población.

TABLA 3
Dosis anual de fuentes naturales en zonas de
fondo de radiación normal

Fuente de radiación	Dosis equivalente anual (µSv)	
	Irradiación externa	Irradiación interna
Rayos cósmicos	380	
Radionucleidos cosmogénicos		12
Radionucleidos en la corteza, flora y fauna		
potasio 40	130	170
rubidio 87		6
Serie del uranio 238:		
uranio 238 - torio 230	140	1
radio 226		4
radón 222 polonio 214		1200
plomo 210 - polonio 210		50
Serie del torio 232:		
torio 232 - torio 228	190	6
torio 220 - polonio 212		73
Total	840	1522
Total (aproximado)	2400	

RAYOS CÓSMICOS

Los rayos cósmicos causan poco menos de la mitad de la exposición del ser humano a la radiación natural externa. La mayoría de ellos tiene su origen en las profundidades del espacio interestelar y algunos son una consecuencia de las deflagraciones solares. Los rayos cósmicos irradian directamente a la Tierra e interactúan con la atmósfera produciendo diferentes materiales radiactivos y tipos adicionales de radiación.

Aunque ningún lugar del planeta escapa a ello, algunas regiones son más afectadas que otras. Por ejemplo, las zonas polares reciben una cantidad mayor de radiación que las zonas ecuatoriales. La exposición aumenta también con la altitud sobre el nivel del mar (factor más importante que el anterior), al disminuir la protección suministrada por la atmósfera.

Una persona que vive a nivel del mar recibe, en promedio, una dosis equivalente de aproximadamente 270 μSv por año de radiación cósmica, mientras que otra que se encuentre a 4000 metros de altitud recibe una dosis aproximadamente 7 veces mayor. La dosis promedio que recibe la población mundial debido a la radiación cósmica es 380 μSv por año.

Quienes viajan en avión, aunque por períodos más cortos, se exponen a dosis todavía superiores. Entre los 4000 metros sobre el nivel del mar, que es la altitud de las poblaciones más elevadas (v.g. la de la ciudad de La Paz, Bolivia), y los 12 000 metros, que es el nivel superior de altitud de los vuelos intercontinentales, la exposición a la radiación cósmica se multiplica por 25. Ésta aumenta aún más entre los 12 000 y los 25 000 metros, que es la altitud máxima alcanzada por los aviones supersónicos. La tasa de dosis a la que están expuestos los pasajeros de un vuelo comercial es alrededor de 3 $\mu\text{Sv h}^{-1}$.

RADIACIÓN TERRESTRE

Los principales materiales radiactivos presentes en las rocas que constituyen la corteza terrestre son el potasio 40 y las dos series de elementos radiactivos naturales procedentes de la desintegración del uranio 238 y del torio 232. El rubidio 87 y el uranio 235 revisten menor importancia.

Los niveles de radiación natural terrestre alrededor del mundo difieren de un lugar a otro, en razón de la variación de la concentración de estos materiales en la corteza. Para la mayor parte de la población, tales diferencias no son especialmente significativas. Las evaluaciones realizadas por el UNSCEAR muestran que la dosis efectiva anual promedio de radiación externa es de 460 μSv .

Por otra parte, cabe decir que, en promedio, un tercio de la dosis efectiva recibida por el ser humano de las fuentes naturales terrestres procede de sustancias radiactivas que se encuentran en el aire, los alimentos y el agua. La dosis efectiva anual debida a la inhalación -excluyendo el radón-, ingestión de alimentos y agua, es 230 μSv , de los cuales 170 μSv corresponden al potasio 40 y 60 μSv a los radionucleidos de las cadenas de desintegración del uranio 238 y del torio 232.

En el país no se han detectado zonas pobladas que tengan altas tasas de exposición a la radiación natural, ni alta concentración de radionucleidos naturales en alimentos y agua que puedan dar origen a dosis de radiación que se aparten significativamente de los valores promedios mundiales.

EL RADÓN

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 (incolore, insípido e inodoro) denominado radón. El UNSCEAR ha estimado que el radón y los radionucleidos resultantes de su desintegración -conocidos como hijas del radón- contribuyen 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 sus hijas.

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.

El radón fluye de la tierra en todas partes del globo, 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. Estos niveles altos no han sido observados en Argentina. En la **figura 2 a y b** se presentan los niveles de radón medidos en el interior de 590 viviendas de diversas ciudades del país, medidos en el período 1983 - 1994. La concentración promedio de radón es de 35 Bq/m³ y el valor máximo observado no superó 150 Bq/m³. La fracción de viviendas con concentración de radón mayor que 100 Bq/m³ es inferior al 5%.

El UNSCEAR, en su informe del año 1993, estima una concentración media ponderada mundial de radón en el interior de viviendas, de 40 Bq/m³. En áreas continentales, el valor promedio, en el exterior, es de 10 Bq/m³ y algo menor en áreas costeras.

figura 2a - Concentración de radón en viviendas

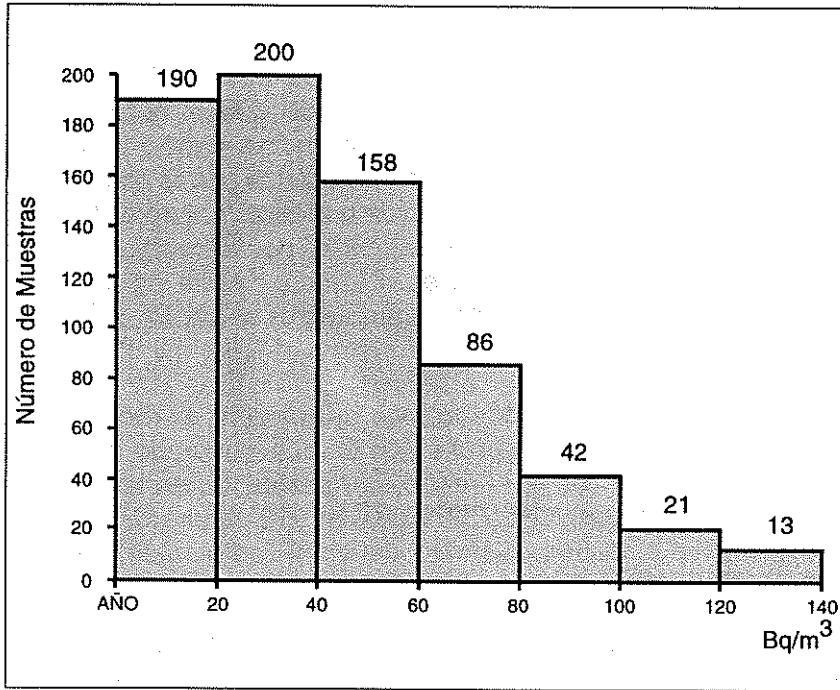
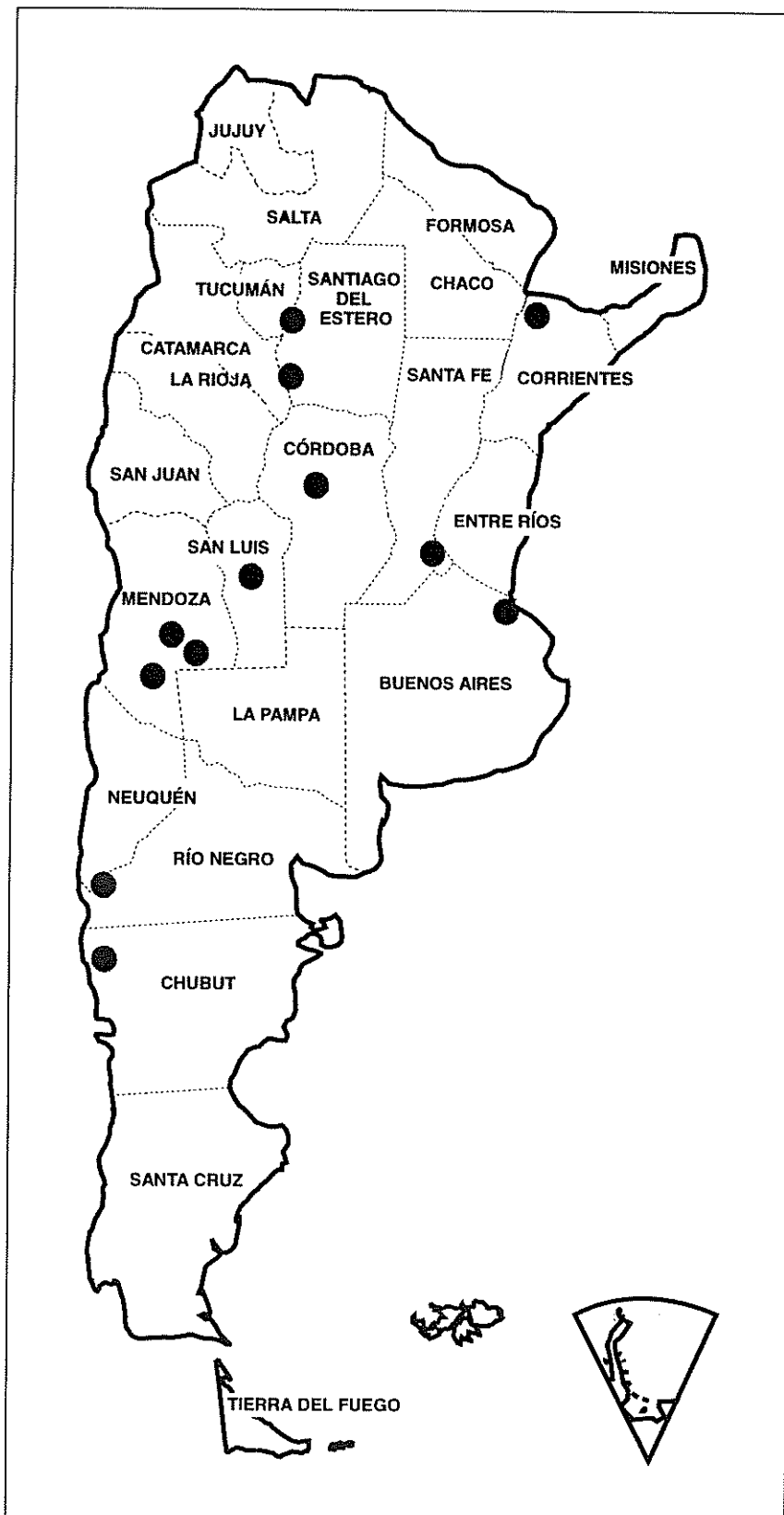


figura 2b - Distribución geográfica de los puntos de muestreo de mediciones de radón en viviendas



OTRAS FUENTES DE RADIACIÓN NATURAL

El carbón de piedra, como la mayoría de los materiales naturales, contiene vestigios de radionucleidos. Su combustión produce la liberación de estos al ambiente y, consecuentemente, la exposición de personas.

Se estima que la producción de 1 GWh de energía eléctrica por combustión de carbón origina una dosis efectiva colectiva comprometida total de 20 Sv hombre. Ello significa que en todo el mundo, la generación de energía eléctrica producida en centrales térmicas que queman carbón da lugar a una dosis efectiva colectiva comprometida de unos 8000 Sv hombre por año de operación (3).

Los fosfatos explotados de manera intensiva en todo el mundo constituyen, también, una fuente de emisión de material radiactivo al ambiente. La mayoría de los yacimientos de fosfato en explotación contienen relativamente altas concentraciones de uranio. La extracción y transformación del mineral produce la liberación de radón; por otra parte, los fertilizantes producidos con fosfatos también contienen material radiactivo, y una pequeña fracción de este material se incorpora a los alimentos. Se estima que la dosis efectiva colectiva en la población mundial, debida a un año de explotación de fosfatos, es 10 000 Sv hombre.

RADIACIÓN ARTIFICIAL

Hace unos 60 años, el hombre desarrolló el conocimiento de la forma de liberar la energía encerrada en el núcleo del átomo, primero con fines bélicos y luego para la generación de energía eléctrica y otras aplicaciones. Todo ese desarrollo trajo aparejado la producción artificial de cientos de radionucleidos, algunos de los cuales tienen aplicación en medicina, industria, investigación, etc. Como consecuencia de ello, la mayoría de la gente recibe una cantidad de radiación de origen artificial relativamente pequeña, a pesar de que en determinadas circunstancias y en áreas localizadas, la dosis resultante puede ser mayor que la natural. En la **tabla 4** se muestra la contribución de las distintas fuentes de radiación artificial a la dosis recibida por la población.

Tabla 4
Compromiso de dosis a largo plazo debido a actividades
y prácticas del hombre (*)

Fuente	Radionucleidos principales	Dosis efectiva colectiva (Sv hombre)
Ensayos de armas nucleares en la atmósfera	carbono 14, cesio 137, estroncio 90, circonio 95	30 000 000
Accidente de Chernobil	cesio 137, cesio 134, yodo 131	600 000
Generación de energía nucleoelectrica (**)	carbono 14, radón 222	400 000
Producción y uso de radioisótopos (**)	carbono 14	80 000
Fabricación de armas nucleares	cesio 137, rutenio 106, circonio 95	60 000
Accidente de Kyshtym	cerio 144, circonio 95, estroncio 90	2 500
Reingreso de satélites a la tierra	plutonio 238, plutonio 239, cesio 137	2 100
Accidente de Windscale	yodo 131, polonio 210, cesio 137	2 000
Otros accidentes	cesio 137, xenón 133, cobalto 60, iridio 192	300
Ensayos subterráneos de armas nucleares	yodo 131	200

(*) Con fines de comparación, la dosis efectiva colectiva anual debida al fondo natural de radiación es 13 000 000 Sv hombre.

(**) Sólo la generación de energía nucleoelectrica y la producción y uso de radioisótopos son prácticas continuadas, dando actualmente dosis colectivas anuales de aproximadamente 700 y 100 Sv hombre respectivamente. El compromiso de dosis colectiva a largo plazo debido a estas fuentes está referido a los nucleidos liberados al ambiente desde el comienzo de la práctica hasta 1990.

Las fuentes artificiales pueden ser controladas más eficazmente que las naturales, aunque la exposición a la radiación externa debida a la precipitación radiactiva, consecuencia de ensayos de armas nucleares que se realizaban en la atmósfera, es tan inelu-

dible e incontrolable como la debida a los rayos cósmicos o a la radiación que proviene de los materiales radiactivos presentes en rocas y suelos.

Los principales contribuyentes a la radiactividad ambiental artificial son los ensayos de armas nucleares en la atmósfera, el accidente nuclear de Chernobil y en mucho menor escala, la generación nucleoelectrica.

PRECIPITACIÓN RADIATIVA EN ARGENTINA

Durante los últimos 50 años la población mundial ha estado expuesta a la radiación proveniente de la precipitación radiactiva originada por ensayos de explosivos nucleares, que se efectuaban en la atmósfera.

Entre los años 1945 y 1980 la potencia total de las armas nucleares ensayadas en la atmósfera fue de 545,4 Megatonnes (1 Megatón equivale a 1 millón de toneladas de TNT) y la dosis colectiva correspondiente fue estimada por UNSCEAR en 3.10^7 Sv hombre.

Las mediciones en Argentina se inician en el año 1959 como consecuencia de los ensayos realizados en el hemisferio norte. Con excepción de una serie de explosiones realizadas en 1962 que introdujo material radiactivo en el hemisferio sur, toda la actividad depositada sobre Argentina hasta el año 1966 fue de origen estratosférico. Por este motivo, el estroncio 90 y el cesio 137, por su largo período de semidesintegración, fueron los radionucleidos de mayor interés radiológico en ese momento.

Las detonaciones nucleares llevadas a cabo entre los años 1966 y 1974 en el Pacífico Sur, cambiaron la naturaleza de la precipitación radiactiva detectada en el país; aparecieron en su composición productos de fisión de semiperíodo corto e intermedio, en particular yodo 131 (5) (6). En la **figura 3a, b y c** se muestra la concentración de yodo 131 en leche, para el año 1974, en las ciudades de Buenos Aires, Salta y Bariloche.

figura 3a - Yodo 131 en leche (Buenos Aires) Año, 1974

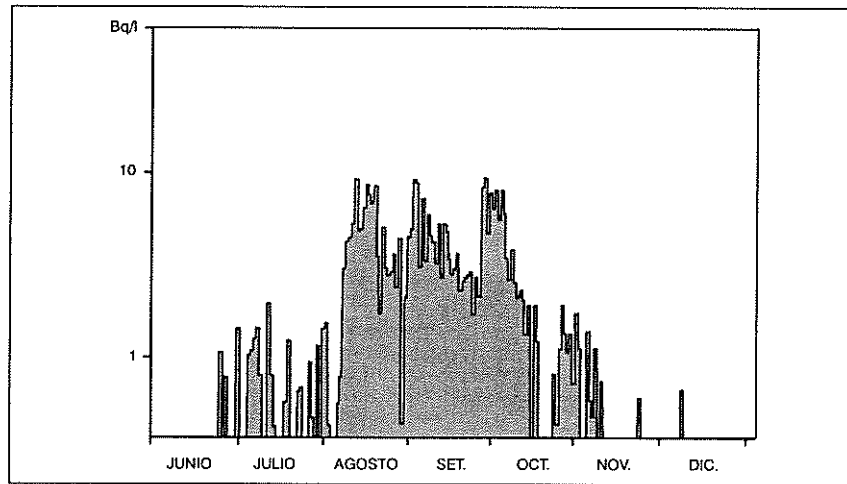


figura 3b - Yodo 131 en leche (Salta) Año, 1974

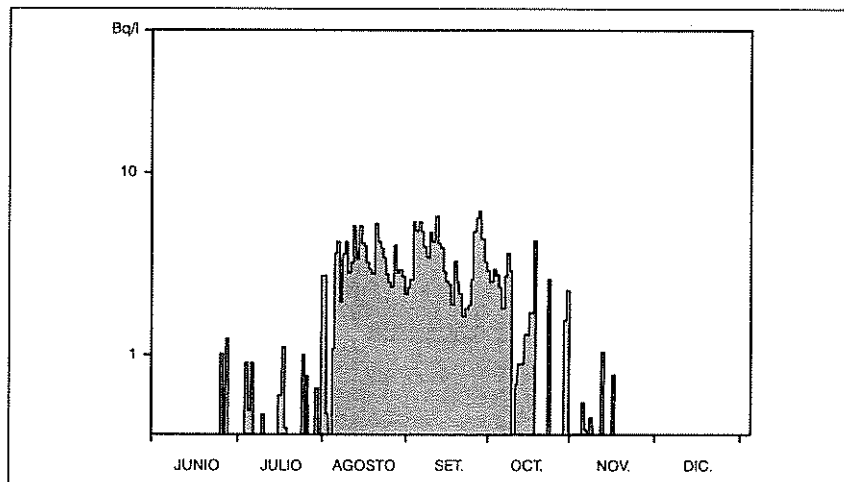
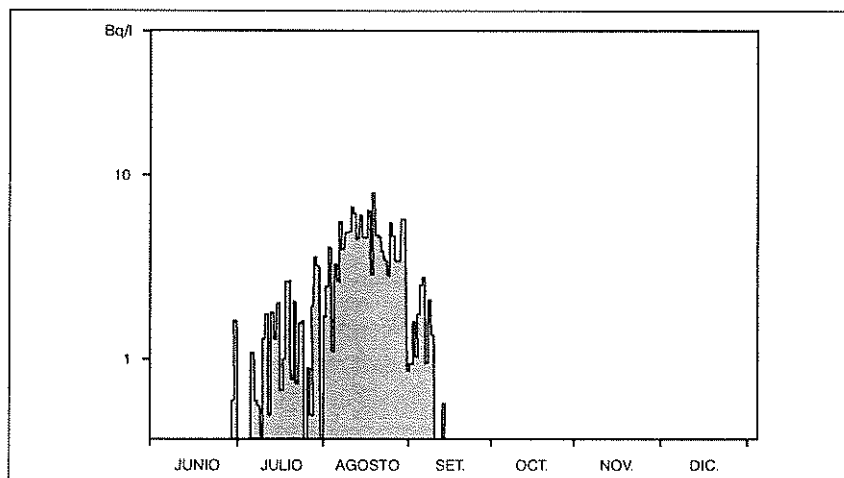


figura 3c - Yodo 131 en leche (Bariloche) Año, 1974



En la **figura 4a** y **b** se presenta la evolución en el tiempo de los depósitos de cesio 137 y estroncio 90 medidos en suelos de la provincia de Buenos Aires.

figura 4a - Depósito de cesio 137 en Buenos Aires en Bq / m²

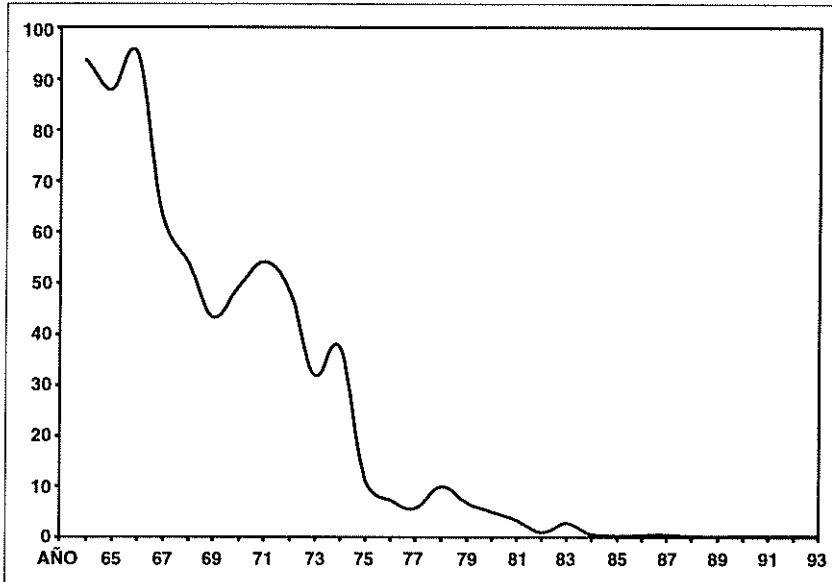
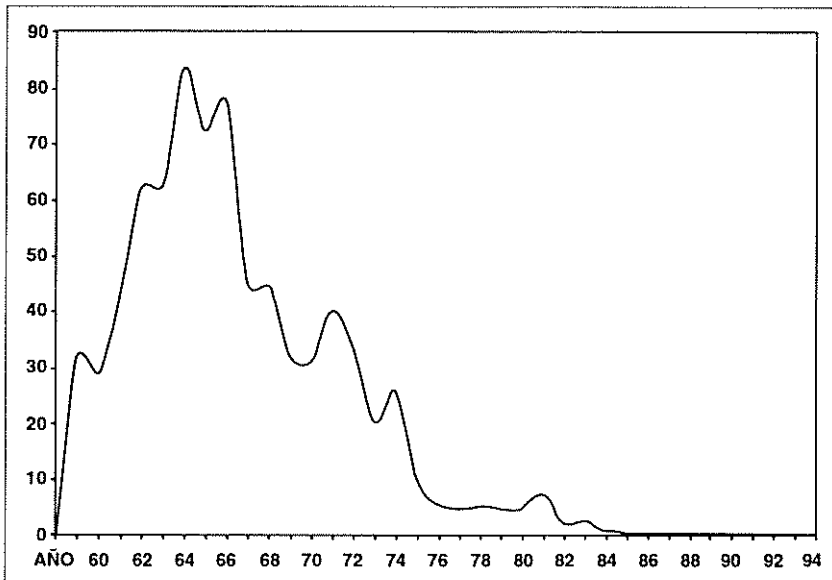


figura 4b - Depósito de estroncio 90 en Buenos Aires en Bq / m²



La determinación de la concentración de actividad en el aire, así como la medición del depósito del material radiactivo, han permitido obtener información sobre el movimiento de los nucleidos en distintos compartimientos del ambiente. En Argentina, la leche vacuna y los cereales constituyen el principal aporte

de estroncio 90 en la dieta, mientras que la leche, la carne y los cereales aportan la mayor parte del cesio 137. La principal fuente de incorporación de yodo 131 es la leche fresca. En la **figura 5a y b** se presenta la evolución en el tiempo del contenido de cesio 137 y estroncio 90 en leche, medidos en la Argentina. En la **tabla 5a y b** se presentan medidas de la concentración de los mismos radionucleidos en alimentos.

figura 5a - Concentración de cesio 137 en leche en Buenos Aires (promedio anual) en Bq/l

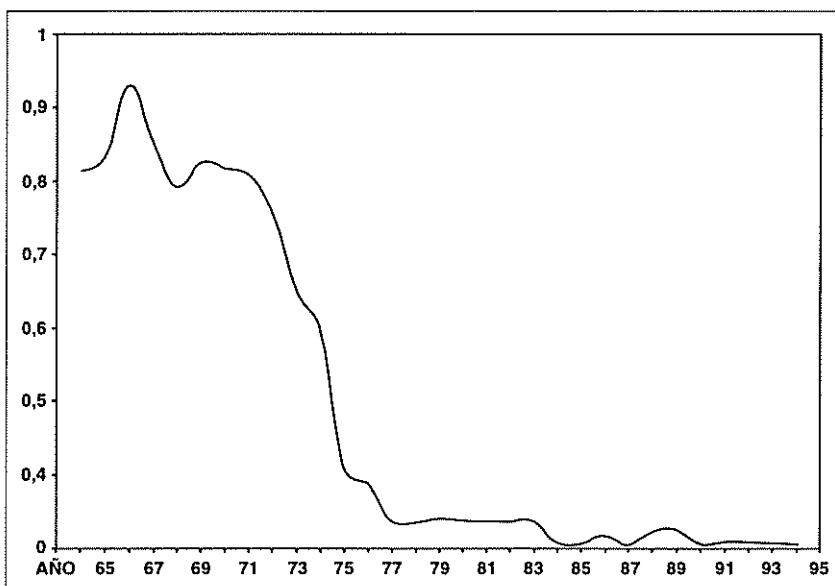


figura 5b - Concentración de estroncio 90 en leche en Buenos Aires (promedio anual) en Bq/l

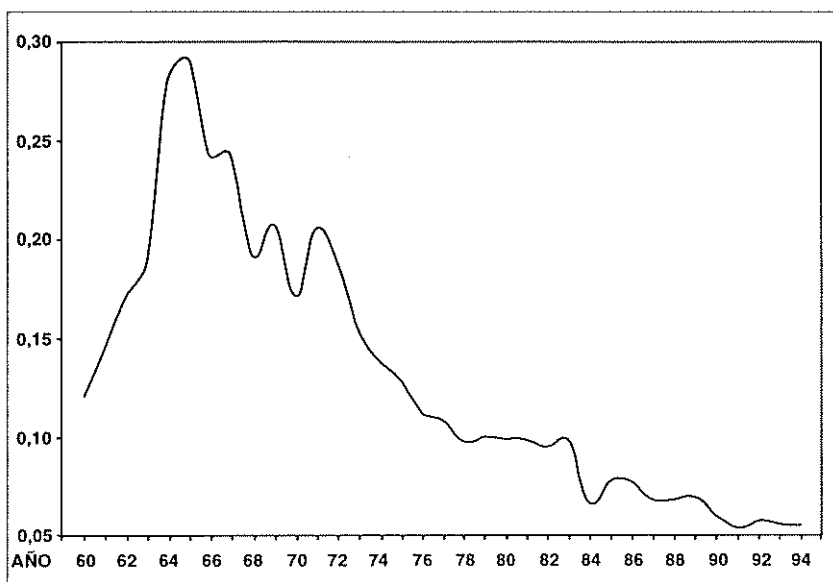


Tabla 5a
Concentración de estroncio 90 en
productos alimenticios (promedios anuales)

Año	Leche (Bq/l)	Dieta total (*) (Bq/d)	Productos lácteos (Bq/kg)	Cereales (Bq/kg)	Frutas y vegetales de hoja (Bq/kg)	Vegetales de raíz (Bq/kg)	Varios (**) (Bq/kg)
1980	0,06	0,04	0,06	0,05	0,02	0,02	0,04
1981	0,06	0,04	0,06	0,05	0,02	0,02	0,04
1982	0,05	0,04	0,05	0,04	0,01	0,01	0,03
1983	0,05	0,04	0,06	0,05	0,01	0,01	0,04
1984	0,02	0,01	0,02	0,01	< 0,01	< 0,01	0,01
1985	0,03	0,02	0,03	0,03	< 0,01	< 0,01	0,02
1986	0,03	0,02	0,03	0,02	< 0,01	< 0,01	0,02
1987	0,02	0,01	0,02	0,01	< 0,01	< 0,01	0,01
1988	0,02	0,01	0,02	0,01	< 0,01	< 0,01	0,01
1989	0,02	0,01	0,02	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1990	0,01	0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1991-1994	0,01	0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Nota: Para el período 1991-94 los valores fueron estimados.

Tabla 5b
Concentración de cesio 137 en
productos alimenticios (promedios anuales)

Año	Leche (Bq/l)	Dieta total (*) (Bq/d)	Productos lácteos (Bq/kg)	Cereales (Bq/kg)	Fruta vegetales (Bq/kg)	Vegetales de hoja (Bq/kg)	Vegetales de raíz (Bq/kg)	Varios (**) (Bq/kg)
1980	0,06	0,05	0,05	0,03	0,02	0,05	0,05	0,05
1981	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,05	0,04	0,05
1982	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,05	0,04	0,05
1983	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,05	0,04	0,05
1984	0,01	0,01	0,01	0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,01
1985	0,01	0,01	0,01	0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,01
1986	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03
1987	0,01	0,01	0,01	0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,01
1988	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,03	0,03	0,04
1989	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,03	0,03	0,04
1990	0,01	0,01	0,01	0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,01
1991	0,02	0,01	0,01	0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,01
1992-1994	0,02	0,01	0,01	0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,01

Nota: Para el período 1992-94 los valores fueron estimados.

(*) Dieta promedio en la Argentina.

(**) Legumbres, repollo, tomate, chaucha, etc.

GENERACIÓN NUCLEOELÉCTRICA

La contribución de la producción de energía nucleoelectrónica a la exposición del hombre es muy reducida. A fines del año 1994 había en el mundo 430 centrales nucleares funcionando en 32 países. Esas centrales, con una potencia instalada de 337,7 GW(e), producían aproximadamente el 17% de la electricidad mundial. La energía eléctrica total generada por centrales nucleares hasta fines de 1992 fue de aproximadamente 2500 GWh.

En la **tabla 6** se presentan los valores promedios quinquenales de las descargas de radionucleidos al ambiente debidas a centrales nucleoelectrificadas, en el mundo, por unidad de energía eléctrica generada. La dosis efectiva colectiva, por unidad de energía eléctrica generada, fue estimada para el período 1985-1989, en 1,4 Sv hombre/GWh. La dosis efectiva colectiva total, fue estimada para el año 1989, en 275 Sv hombre (3).

TABLA 6
Liberación promedio mundial de radionucleidos por unidad de energía eléctrica producida, en TBq / GWh

Año	Gases nobles	Tritio gaseoso	Carbono 14	Yodo 131	Aerosoles	Tritio líquido	Otros líquidos
1970-1974	13 000	48	0,71	0,047	0,019	19	2,10
1975-1979	3 300	38	0,70	0,120	0,017	42	0,70
1980-1984	1 200	44	0,75	0,009	0,014	38	0,38
1985-1989	330	30	0,52	0,002	0,004	41	0,08

MEDICIONES EN ARGENTINA

MEDICIONES AMBIENTALES

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 la fracción restante es liberada al ambiente, junto con los efluentes gaseosos y líquidos. El monitoreo de esas descargas se realiza mediante mediciones efectuadas en la chimenea de las centrales

y en los puntos de descarga de efluentes líquidos de las mismas, antes de su liberación.

La dilución en el ambiente es tan grande que resulta imposible, en el caso de la gran mayoría de los radionucleidos, pretender verificar el cumplimiento de los límites de descarga autorizados a través de la vigilancia radiológica. El plan de vigilancia que se efectúa alrededor de las instalaciones tiene como objetivo verificar que los parámetros de transporte que se han utilizado en los modelos ambientales para el cálculo de los límites de descarga, se mantienen en el tiempo, y detectar cualquier cambio en las vías de transferencia hasta el hombre. Adicionalmente, el plan permite responder a inquietudes de la opinión pública sobre este tema.

En las **tablas 7a y b y 8a y b** se presentan los resultados de las mediciones ambientales llevadas a cabo en zonas próximas a la CNA I y a la CNE. Con excepción del tritio, y en casos puntuales del cobalto 60, no se detectó la presencia en el ambiente de radionucleidos atribuibles al funcionamiento de ambas centrales. Los niveles de yodo 131, cesio 137 y estroncio 90 están dentro de los valores observados en las mediciones de la precipitación radiactiva realizadas en el país. Los niveles de cobalto 60 medidos en los alrededores de las centrales citadas han estado cercanos al límite de detección del instrumental utilizado.

TABLA 7a
Concentración de actividad en muestras ambientales
en zonas de la Central Nuclear Atucha I
 (Depósito, en Bq/m²)

Radionucleido		Año					
		1989	1990	1991	1992	1993	1994
cesio 137	(1)	0,4	0,3	0,3	< 0,3	0,2	< 0,2
	(2)	0,4	0,4	0,4	< 0,3	< 0,2	—
	(3)	0,4	0,4	0,3	0,3	—	< 0,2
cobalto 60	(1)	0,5	0,4	0,3	< 0,2	< 0,1	< 0,1
	(2)	0,5	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,1	< 0,1
	(3)	0,5	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,1	< 0,1
yodo 131	(1)	0,4	< 0,2	0,3	< 0,2	0,2	< 0,1
	(2)	0,4	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,1	—
	(3)	0,4	—	< 0,2	< 0,2	—	< 0,1

Puntos de muestreo: (1) Tambo (grupo crítico)
 (2) Tranquera acceso a tambo
 (3) Ciudad de Lima

TABLA 7b
Concentración de actividad en muestras ambientales
en zonas de la Central Nuclear Atucha I
 (Aerosoles, en Bq/m³)

Radionucleidos		Año					
		1989	1990	1991	1992	1993	1994
cesio 137	(1)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	—	< 0,01
	(2)	—	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	(3)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	—
cobalto 60	(1)	0,20	0,12	< 0,10	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	(2)	< 0,10	0,13	< 0,10	< 0,05	< 0,05	—
	(3)	0,11	0,20	< 0,10	< 0,05	< 0,05	< 0,05
yodo 131	(1)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	(2)	—	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	(3)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	—	< 0,01
estroncio 90	(1)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	(2)	< 0,01	0,05	< 0,01	< 0,01	—	—
	(3)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

TABLA 8a
Concentración de actividad en aguas del
Río Paraná próximo al punto de descarga de
la Central Nuclear Atucha I
 (en Bq/l)

Año	Cesio 137	Cobalto 60	Yodo 131	Estroncio 90
1986	< 0,002	< 0,001	< 0,002	< 0,001
1987	< 0,002	< 0,001	< 0,002	< 0,001
1988	0,007	0,010	0,007	0,002
1989	0,009	0,010	0,009	< 0,001
1990	0,009	0,002	< 0,002	0,002
1991	< 0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001
1992	< 0,002	0,005	< 0,001	< 0,001
1993	< 0,002	0,010	0,004	< 0,001
1994	< 0,002	0,002	< 0,001	< 0,001

TABLA 8b
Concentración de actividad en aguas del
lago Embalse Río Tercero próximo al punto
de descarga de la Central Nuclear Embalse
 (en Bq/l)

Año	Cesio 137	Cobalto 60	Yodo 131	Estroncio 90
1986	< 0,01	< 0,02	0,03	< 0,005
1987	< 0,01	< 0,02	< 0,02	0,008
1988	0,02	< 0,02	0,03	0,008
1989	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,007
1990	0,01	< 0,02	< 0,02	0,006
1991	0,02	< 0,02	0,03	0,007
1992	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,005
1993	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,005
1994	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,005

En la **tabla 9** se muestran los resultados de las mediciones en agua alrededor del Centro Atómico Ezeiza (CAE). Al igual que en el caso de las centrales nucleares, no se detectaron radionucleidos en el ambiente que puedan atribuirse al funcionamiento de este centro atómico. Incluso, las mediciones de la napa subterránea alrededor del área de tratamiento de residuos de baja actividad, en puntos localizados dentro del CAE, confirma que los radionucleidos quedan fuertemente retenidos en el suelo de las trincheras, no existiendo contaminación alguna de la napa subterránea.

TABLA 9
Concentración de actividad en agua
en la zona del Centro Atómico Ezeiza
 (en Bq/l)

Año		Cesio 137	Cobalto 60	Yodo 131
1986	(1)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
	(2)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
	(3)	—	—	—
1987	(1)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
	(2)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
	(3)	—	—	—
1988	(1)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
	(2)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
	(3)	—	—	—
1989	(1)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
	(2)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
	(3)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
1990	(1)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
	(2)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
	(3)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
1991	(1)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
	(2)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
	(3)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
1992	(1)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
	(2)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
	(3)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
1993	(1)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
	(2)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
	(3)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
1994	(1)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
	(2)	< 0,002	< 0,001	< 0,002
	(3)	< 0,002	< 0,001	< 0,002

(1) Agua de Arroyo Aguirre al punto de descarga.

(2) Agua de napa.

(3) Agua de pozo para el suministro de agua potable en el CAE.

MEDICIÓN DE ALIMENTOS

En la **tabla 10**, se muestran los valores de concentración de cesio 137 en alimentos importados de países europeos, después del accidente de Chernobil. Las concentraciones medidas en tales alimentos no excedieron el 10% para el caso de leche y el 1% para el resto de los alimentos, respecto de los niveles fijados por el Codex Alimentarius para el libre comercio internacional de alimentos.

TABLA 10
Niveles de cesio 137 en alimentos de importación
(Después del accidente de Chernobil)

Producto	Origen	Período	Nivel de cesio 137 (Bq/kg)
Papas	Polonia	1986	3 a 4
Pollo	Hungría	1986 -1987	3 a 4
Pollos	ex Yugoslavia	1986 -1987	3 a 4
Leche en polvo	Finlandia	1991 -1992	30 a 100
Leche en polvo	Polonia	1991 -1992	30 a 100
Leche en polvo	Suecia	1991 -1992	10 a 40
Leche en polvo	ex URSS	1991 -1992	10 a 50

REFERENCIAS

- (1) Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de la Radiación Atómica. "Fuentes y efectos de las radiaciones ionizantes". Informe a la Asamblea General y anexos, 1977. Naciones Unidas, New York, (1977). 773p.
- (2) Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de la Radiación Atómica. "La radiación ionizante: fuentes, y efectos biológicos". Informe a la Asamblea General y anexos, 1982. Naciones Unidas, New York, (1983). 780p.
- (3) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. "Sources and effects of ionizing radiation". UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly, with scientific annexes. United Nations, New York, (1993). 922p.
- (4) Cancio, D.; Menossi, C. y Ciallella, N. "Transferencia de algunos nucleidos de interés para las evaluaciones ambientales de instalaciones nucleares". Regional Seminar on the application of environmental impact analysis to the nuclear power industry. Buenos Aires, 29 aug.-2 sep. 1977. CNEA, Buenos Aires (1977). CNEA-NT 26/77.
- (5) Beninson, D.; Beninson, A.M. de y Menossi, C. "Fallout radiactivo debido a las explosiones en el Pacífico Sur en el período 1966-1970". CNEA, Buenos Aires (1972). CNEA-321.
- (6) Beninson, D., Beninson, A.M. de y Menossi, C. "Fallout radiactivo debido a las explosiones en el Pacífico Sur en el período 1971-1972". CNEA, Buenos Aires (1974). CNEA-376.