

# Consecuencias radiológicas del accidente de Chernobil en la Unión Soviética y medidas adoptadas para mitigar su repercusión

*El análisis de los datos confirma la eficacia de las medidas en gran escala adoptadas para limitar las consecuencias del accidente*

por L.A. Ilyin y O.A. Pavlovskij

Como consecuencia del accidente ocurrido a la 1:23 de la mañana del 26 de abril de 1986 en la unidad 4 de la central nuclear de Chernobil, se produjo la emisión de una cantidad significativa de materiales radiactivos acumulados en el reactor durante su explotación. Debido a las condiciones meteorológicas existentes en relación con la transferencia de la masa de aire, la nube que se formó en el momento del accidente dejó una estela radiactiva sobre toda la zona al oeste y al norte de la central. Durante los 10 días siguientes continuó una intensa liberación de gases y aerosoles radiactivos que contaminaron el terreno en distintas direcciones y a considerables distancias de la central. El 6 de mayo de 1986 se estimó que la liberación total de sustancias radiactivas (excluidos los gases nobles radiactivos) era de aproximadamente 1,9 EBq (exabequerelios ó  $10^{18}$ ), o sea, el 3,5% del inventario total de radionucleidos existentes en el reactor en el momento del accidente. La liberación de los nucleidos más significativos desde el punto de vista biológico, como estroncio 90, yodo 131 y cesio 137, fue de 8,1, 270 y 37 PBq (petabequerelios ó  $10^{15}$ ) respectivamente.

## Decisión de evacuar

En las primeras horas después del accidente, la nube circunvoló el pueblo de Pripjat, pero más tarde, al disminuir sustancialmente la altura de la liberación del reactor dañado, el cambio en la dirección del viento al nivel del suelo provocó que el penacho radiactivo envolviera el territorio del pueblo durante cierto tiempo, contaminándolo gradualmente. Hasta las 9 de la noche del

26 de abril de 1986, la medición de tasa de dosis de radiación gamma a 1 metro de altura sobre el terreno en algunas calles del pueblo arrojó entre 14 y 140 milirenguenios por hora (mR/h). Durante la madrugada del 26 al 27 de abril, la situación radiológica en el pueblo comenzó a empeorar. A las 7 de la mañana del 27 de abril, la tasa de dosis de radiación gamma en la zona más cercana a la central (la calle Kurchatov) se había elevado a entre 180 y 600 mR/h, mientras que en otras calles oscilaba entre 180 y 300 mR/h. Se tomó la decisión de evacuar Pripjat y algunas poblaciones cercanas ante los pronósticos de que la exposición externa recibida por la población durante los primeros días del accidente podría exceder el nivel utilizado en la Unión Soviética como criterio para adoptar la decisión de introducir medidas de emergencia para proteger a la población\*. Toda la evacuación se efectuó entre las 2 y las 5 de la tarde del 27 de abril. A esa hora la tasa de dosis de radiación gamma en el pueblo alcanzaba entre 0,36 y 0,54 R/h, y en la zona de la calle Kurchatov estaba entre 0,72 y 1,0 R/h. El 6 de mayo los niveles de radiación en el pueblo habían disminuido aproximadamente en un factor de tres.

La integración de las curvas de la variación de la situación radiológica en diversos distritos de Pripjat, y su comparación con los datos obtenidos directamente de las lecturas de los dosímetros personales utilizados por los integrantes de los servicios de seguridad radiológica y los equipos de emergencia, indicaron que la dosis máxima recibida por los grupos de mayor riesgo entre los habitantes del pueblo podía haber ascendido a 0,1 gray (Gy) para la radiación externa y a cerca de 1 Gy para la radiación beta en la piel.

Los Profesores Ilyin y Pavlovskij trabajan en el Instituto de Biofísica adjunto al Ministerio de Salud Pública de la URSS, en Moscú. Este artículo se basa en el trabajo que presentaron ante la Conferencia Internacional del OIEA sobre el comportamiento y la seguridad de la energía nucleoelectrónica, celebrada en Viena del 28 de septiembre al 2 de octubre de 1987. Los documentos de la Conferencia se encuentran a la venta en el OIEA.

\* Véase "Adopción de medidas de urgencia para proteger a la población en caso de liberación accidental de radiactividad en el medio ambiente", por I.K. Dibobes, L.A. Ilyin, V.M. Kozlov, et al., *Tratamiento de los accidentes radiológicos*, actas del simposio internacional de OIEA, Viena (1969, pág. 547 (en ruso).

El reactor dañado de Chernobil se encapsuló en una estructura llamada "sobre" (conocida generalmente como "sarcófago") cuyo objetivo es contener los materiales radiactivos y evitar la contaminación del medio ambiente.



Cabe destacar que la gran mayoría de la población de Pripjat, y especialmente los niños, resultaron expuestos a dosis muy inferiores a los valores máximos estimados. Inmediatamente después del accidente se aconsejó a la población que evitara permanecer al aire libre y cerrara las ventanas. El 26 de abril se prohibió que las instituciones infantiles del pueblo realizaran actividades al aire libre. Asimismo, equipos médicos aplicaron la profilaxis con yodo en todas las instituciones infantiles. En consecuencia, las personas que durante los días 26 y 27 de abril permanecieron en interiores la mayor parte del tiempo, estuvieron expuestos a una dosis de radiación gamma de dos a cinco veces inferior a los niveles registrados en el exterior. Atendiendo a lo antes expuesto, cabe suponer que los niveles probables de exposición de la gran mayoría de la población de Pripjat oscilaron entre 15 y 50 mGy para la radiación gamma, y entre 0,1 y 0,2 Gy para la radiación beta sobre la piel.

Los exámenes posteriores de la tasa de aberraciones cromosómicas en los linfocitos de la sangre periférica realizados por especialistas del Instituto de Genética de la Academia de Ciencias de la URSS confirmaron estas estimaciones. Esos estudios indicaron que incluso entre el grupo de población de más alto riesgo de Pripjat, (personas que permanecieron largo tiempo al aire libre después del accidente y que se desplazaban constantemente de un lugar a otro, como médicos, miembros de las fuerzas del orden público, trabajadores de los servicios públicos, etc.), la dosis media absorbida estimada a partir de este método biológico fue de  $0,13 \pm 0,3$  Gy. Asimismo se observó un alto grado de convergencia entre los métodos de dosimetría biológicos utilizados y los métodos "físicos" tradicionales. Una comparación por pares de estas dosis realizada con 93 personas que

participaron en la eliminación de las consecuencias del accidente indicó que había una proporción de dosis media de 0,98, con una desviación típica de 0,51.

En vista de la prolongada liberación de gases y aerosoles radiactivos proveniente del reactor dañado, y sobre la base de los materiales existentes y las estimaciones especiales realizadas para toda la zona contaminada, se llegó a la conclusión de que se debía seguir evacuando la zona del accidente\*. De esta forma, la cifra total de evacuados ascendió a 115 000. Para ellos se construyeron 50 instalaciones de albergue y 13 000 viviendas de tipo rural, y se habilitaron 8000 apartamentos en Kiev y Chernigov.

En esta etapa decisiva de aplicación de las medidas destinadas a proteger a la población\*\* desempeñaron un importante papel los criterios que constituyen la norma establecida en la Unión Soviética. (Véase el cuadro adjunto.) Cuando se elaboraron esos criterios se reconoció que las medidas más urgentes son las encaminadas a proteger a la población de los peligros que entraña el desplazamiento de la nube radiactiva liberada durante el accidente, a saber la inhalación y la exposición externa.

\* "Evaluación de las consecuencias radiológicas en caso de accidentes en centrales nucleoelectricas y problemas relacionados con la seguridad del público", por L.A. Ilyin, O.A. Pavlovskij, e I.P. Sayapin, *Seguridad y protección radiológicas en las centrales nucleoelectricas*, 8a. ed. (Yu A. Egorov, Ed.), Energoatomizdat, Moscú (1984) 146 (en ruso).

\*\* "Criterios para la adopción de decisiones urgentes acerca de medidas destinadas a proteger a la población en caso de accidentes en una central nucleoelectrica", por Yu.O. Konstantinov, *Seguridad y protección radiológicas en las centrales nucleoelectricas*, 9a ed. (Yu.A. Egorov, ed.), Energoatomizdat, Moscú (1985) (en ruso).

**Cráterios que se siguen en la Unión Soviética para adoptar decisiones sobre medidas encaminadas a proteger a la población en caso de accidente en un reactor**

Naturaleza de la exposición	Nivel de exposición	
	A	B
Radiación gamma externa (rad)	25	75
Exposición del tiroides por la incorporación de yodo radiactivo (rad)	25-30	250
Concentración integrada de yodo 131 en el aire, (microcurio por día por litro)		
Niños	40	400
Adultos	70	700
Incorporación total de yodo 131 a través de los alimentos (microcurio)	1,5	15
Contaminación máxima de la leche fresca (microcurio por litro), o de la ingestión diaria de alimentos (microcurio por día) con yodo 131	0,1	1
Densidad inicial de la precipitación radiactiva de yodo 131 sobre los pastos (microcurio por metro cuadrado)	0,7	7

Si la exposición o la contaminación no exceden el nivel A, no es necesario adoptar medidas de emergencia que entrañen la interrupción temporal de la vida cotidiana de la población. Si la exposición o la contaminación exceden el nivel A sin llegar al B, se recomienda adoptar decisiones basadas en la situación real y las condiciones locales.

Si la exposición o la contaminación alcanzan o exceden el nivel B, se recomienda adoptar medidas de emergencia que garanticen la protección radiológica del público: la población debe buscar inmediatamente abrigo en interiores; debe restringirse el tiempo de permanencia al aire libre; debe organizarse una rápida evacuación atendiendo a la situación real; debe distribuirse yodo profiláctico; debe prohibirse o limitarse el uso de productos contaminados en los alimentos; y el ganado lechero debe trasladarse a lugares donde los pastos o el forraje no estén contaminados.

De menor urgencia son las medidas encomendadas a evitar la contaminación de la leche y su utilización como alimento. No todas las medidas de protección de la población tienen igual valor, y esto se aplica también al efecto psicológico negativo que pueden tener sobre la población; desde este punto de vista, la medida más compleja es la evacuación. De esto se infiere que la selección de los niveles de peligro que justifican la adopción de estas u otras medidas de protección debería basarse no sólo en el examen de los riesgos biológicos derivados de la exposición, sino también en los factores siguientes: alcance del peligro en cuestión; urgencia relativa de las medidas de protección; grado de certeza en la evaluación de la situación radiológica cambiante; posibilidad real de aplicar una medida a tiempo; el efecto psicológico negativo y el riesgo que para la salud de la población pudiera entrañar la adopción de una medida dada. A la luz de estos factores, se consideró que en el caso de una medida como la evacuación de la población para evitar la exposición externa a la radiación gamma era adecuado adoptar como criterio principal niveles cercanos al umbral de dosis en que la exposición podría afectar al organismo humano. En el caso de la exposición interna de la glándula tiroides debido a la inhalación de isótopos de yodo, se decidió tomar como límite superior del criterio el nivel de dosis en que, según los datos

clínicos y experimentales, puedan esperarse efectos graves en la persona.

Tomando como base la experiencia nacional e internacional en la evaluación de los efectos de la radiación sobre el organismo humano se decidió adoptar los valores de 0,25 Gy para la exposición externa del organismo humano y entre 0,25 y 0,3 Gy para la exposición interna del tiroides como el nivel inferior de intervención (nivel A en el cuadro) que daría lugar a la adopción de medidas de emergencia, incluida la interrupción temporal de la vida normal de la población. El nivel superior (nivel B), que representa una situación ante la cual hay que adoptar esas medidas, es de 0,75 y 2,5 Gy para la exposición corporal total y la exposición del tiroides, respectivamente. Cabe señalar que estos niveles de dosis se aproximan bastante al rango de los niveles de intervención (0,05 a 0,5 Gy para la exposición corporal total y 0,5 a 5 Gy para la exposición del tiroides) recomendados por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el OIEA para la adopción de decisiones relativas a la evacuación de la población en una etapa temprana de un accidente\*. Con todo, la decisión de evacuar Pripyat no se adoptó cuando la exposición de la población alcanzó o excedió el nivel A, sino cuando los pronósticos sobre la situación radiológica indicaron la posibilidad de que sucediera. Este principio se siguió también en la evacuación de otras zonas contaminadas, aunque debido a los cambios constantes de la situación radiológica en la zona del accidente, fue imposible evitar que todos los habitantes recibieran una dosis superior al nivel A. En algunos centros de población ubicados en las zonas más contaminadas por la estela radiactiva (los poblados de Tolstyy-Les, Kopachi y algunos más) la exposición externa recibida por la población fue de 0,3 a 0,4 Gy, pero en ningún caso alcanzó los valores correspondientes al nivel B de los criterios antes mencionados. Sin embargo, incluso esos niveles de exposición externa del organismo humano no entrañan riesgos de efectos somáticos agudos inmediatos en las personas expuestas.

Las mediciones de la carga de isótopos de yodo en el tiroides realizadas a personas evacuadas de Pripyat hacia centros cercanos en la región de Polesk demostraron que en el 97% de los casos examinados la carga de yodo en el tiroides constituía una dosis inferior a 0,3 Gy, en el 2% la dosis osciló entre 0,3 y 1 Gy, y en menos del 1% la dosis fue de 1,1 a 1,3 Gy. La profilaxis con yodo y también las restricciones impuestas al consumo de leche de vaca proveniente de criadores privados desempeñaron un papel importante en este sentido. Confirman estos datos las mediciones de la carga de yodo en el tiroides que se realizaron a los habitantes de Pripyat evacuados al pueblo de Belaya Tserkov, donde se impusieron severas restricciones a la posibilidad de ingerir alimentos contaminados con yodo 131. Según los resultados de las mediciones realizadas el 7 de mayo de

\* Véase *Niveles de intervención derivados para su aplicación al control de las dosis de radiación al público en caso de accidente nuclear o de emergencia radiológica: principios, procedimientos y datos*, Colección Seguridad No. 181, OIEA (1986), y *Nuclear power accidental releases practical guidance for public health action*, Publicaciones Regionales de la OMS, Serie Europea No. 21, Copenhague, Oficina Regional de la OMS para Europa (1987).



1986, en la mayoría de los casos examinados la carga en el tiroides fue de 0,015 a 0,25 Gy, y sólo en algunos casos de niños entre tres y ocho años de edad la carga de yodo 131 en el tiroides fue de 0,17 a 0,24 MBq (mega-bequerelios ó  $10^6$ ) lo que significa que ese órgano absorbió una dosis de 1,5 a 2,2 Gy. Esta distribución de la población atendiendo a la exposición del tiroides por inhalación fue más o menos característica también en el caso de los habitantes de otros centros de población evacuados de la zona del accidente.

Como medida de precaución, durante el verano de 1986 todos los niños de la zona de evacuación (más de 27 000 niños) fueron enviados a instituciones estatales de salud; esta operación se organizó de forma centralizada. Se sometieron a una vigilancia médica constante aquellos niños en los que se estimó que la exposición del tiroides antes de la desintegración total de los isótopos de yodo fue superior a 0,3 Gy. Se aplicó la profilaxis con yodo a un total de 5,4 millones de personas, incluidos 1,7 millones de niños. Además de esta medida de emergencia, y sobre la base de los datos nacionales e internacionales relativos a la eficacia de otras medidas de protección de la población, se adoptaron numerosas medidas de precaución y protección en regiones aledañas al lugar del accidente, lo que contribuyó a reducir sustancialmente las dosis de exposición interna y externa de la población\*. A continuación se ofrece una descrip-

ción pormenorizada de estas medidas y de su eficacia en las condiciones reales existentes mientras se trabajaba en la eliminación de las consecuencias del accidente.

#### Evaluación de las consecuencias a largo plazo

La información recogida en diversos sectores de la parte europea de la Unión Soviética mostró que las emisiones radiactivas de la central de Chernobil habían afectado la situación radiológica no sólo en el territorio cercano a la central, sino a distancias considerables de ésta. Con miras a evaluar las consecuencias radiológicas a largo plazo del accidente, se dividió todo el territorio de la Unión Soviética en 20 regiones tomando como base las regiones económicas usuales ... (Véase el mapa.)

El análisis de los resultados de los cálculos realizados para cada una de las 20 regiones económicas y para todo el territorio de la unión Soviética indicó lo siguiente:

- El papel que desempeñó la exposición externa a la nube radiactiva no es elevado: entre el 2,5% y el 0,8% de la dosis colectiva total para la población soviética en el primer año que siguió al accidente o en la vida de un hombre. En las zonas cercanas a la central la contribución de este factor es algo mayor debido a la dosis adicional que recibió la población evacuada de las inmediaciones de la central en un radio de 30 kilómetros.

\* "Planificación de las medidas de emergencia en el exterior del emplazamiento en caso de accidente radiológico en una instalación nuclear, recomendaciones, Colección Seguridad No. 55, OIEA, (1981); El yodo radiactivo y el problema de la protección radiológica, por L.A. Ilyin, G.V. Arkhangel'skaya, Yu.O. Konstantinov e I.A. Likhtarev (L.A. Ilyin, Ed.), Atomizdat, Moscú (1982) (en ruso); Bases para la protección del organismo humano de los efectos de las

substancias radiactivas, por L.A. Ilyin, Atomizdat, Moscú (1977) (en ruso); "Productos agrícolas como fuentes de radionucleidos y algunos principios para la organización de la agricultura en las cercanías de instalaciones nucleoelectricas", por R.M. Aleksakhin, N.A. Korneev, L.I. Pantelev y B.I. Shukhovtsev, Seguridad y protección radiológicas en las centrales nucleoelectricas, 9a ed. (Yu.A. Egorov, Ed.), Energoatomizdat, Moscú (1985) 70 (en ruso).

- La exposición interna del organismo debido a la inhalación de sustancias radiactivas representa también una parte pequeña de la dosis de radiación recibida por la población (4,5% y 1,4% para la dosis anual y la dosis vitalicia, respectivamente). En este caso el isótopo que más contribuyó a la dosis es el yodo 131, y el órgano clave que recibió el máximo de exposición es la glándula tiroides. Cabe destacar que las exposiciones medias de la población de Bielorrusia en relación con este factor fueron 4,3 mGy para los lactantes (1 año de edad), 3,7 mGy para los niños de alrededor de 10 años de edad, y 5,0 mGy para los adultos. En otras regiones las dosis fueron mucho menores.

- Tomando en cuenta todas las medidas que ya se han aplicado y las que se prevé aplicar en el futuro, la mayor contribución a la dosis recibida por la población soviética fue la exposición externa a la precipitación radiactiva depositada en el suelo. Su contribución relativa ascenderá del 53% en el año siguiente al accidente al 60% del compromiso de dosis para la población. Cabe señalar que la contribución de la exposición externa de la población soviética en el primer año después del accidente constituye el 26,7% de su compromiso de dosis. De este 26,7%, el 20,2% corresponde al yodo 131 y a otros isótopos de período corto, y el 6,5% restante se distribuye casi a partes iguales (3,5% y 3%) entre el cesio 134 y el cesio 137. En el caso de la dosis vitalicia, el cesio 137 desempeña, por supuesto, el papel principal, ya que constituye el 70% en la exposición externa general del público a la precipitación radiactiva depositada sobre la superficie de la tierra como consecuencia del accidente. Al estimar las exposiciones al cesio 137 a corto y largo plazos, se tomaron en cuenta las variaciones en los niveles de la población en general y en el tamaño relativo de la población urbana en cada región del país. Debe señalarse que las labores de descontaminación desempeñaron un papel importante en la reducción de las exposiciones externas a la radiación gamma recibidas, especialmente en las regiones cercanas a la central de Chernobil. La descontaminación de más de 600 centros de población, la extracción y el posterior enterramiento del suelo contaminado, la supresión de polvos en grandes zonas, el asfaltado o recubrimiento de los sectores contaminados con grava, gravilla, arena o tierra fresca, la designación de zonas de exclusión y las restricciones impuestas a la actividad productiva, así como otras medidas similares, permitieron reducir las exposiciones medias de la población de estas regiones en un factor de dos a tres.

- La exposición interna debido a la ingestión de sustancias radiactivas fue el elemento más "controlable" de las exposiciones a la radiación. Los nucleidos que más contribuyeron a las exposiciones ocasionadas por el accidente fueron el yodo 131, el cesio 134 y el cesio 137. Antes del accidente, las normas soviéticas vigentes, al igual que las de otros países, sólo se relacionaban con la ingestión dietética anual permisible de sustancias radiactivas. Se había establecido también un nivel de concentración admisible de nucleidos en el agua potable. No se había reglamentado el contenido de radionucleidos de los distintos alimentos. Las normas que se aplicarían en caso de accidente se referían al producto fundamental (la leche de vaca) y al nucleido de mayor importancia en un accidente, el yodo 131.

### Normas para los alimentos

A raíz del accidente de Chernobil hubo que actuar con eficacia en lo tocante a la inspección y la prohibición del consumo de determinados alimentos. Puesto que al principio el peligro fundamental radicaba en la incorporación de yodo 131 durante la primavera y el verano, principalmente a través de la leche, pero también de las verduras de hojas, inmediatamente después del accidente se introdujeron normas sobre el contenido admisible de yodo 131 en la leche y sus derivados (requesón, leche agria, queso y mantequilla) y en las verduras de hojas comestibles. Las normas se estimaron de modo que la dosis al tiroides de los niños no pudiera exceder de 0,3 Gy, condición ésta que se cumplió con una concentración admisible de yodo 131 en la leche de 3,7 kBq/L. En 1957 se estableció una norma similar en Inglaterra a raíz del accidente de Windscale. También se establecieron normas para el nivel admisible de yodo 131 en la carne, las aves de corral, los huevos, las bayas y las materias primas de los medicamentos. En la segunda quincena de mayo de 1986 se obtuvieron datos que indicaron que, junto con la desintegración del yodo 131, el cesio 137 y el cesio 134 estaban desempeñando un papel cada vez más importante en la contaminación de la carne y otros productos del agro; se comprobó también la presencia de isótopos de elementos de las tierras raras en los alimentos. Para realizar la vigilancia y la inspección en gran escala de los alimentos durante ese período, se requerían normas que permitieran llevar a cabo la vigilancia con los instrumentos más sencillos posibles o, dicho de otro modo, las normas tenían que referirse al contenido total de actividad beta. El 30 de mayo de 1986 el Ministerio de Salud Pública aprobó dichas normas, que mantenían cierta continuidad con las del 8 y el 12 de mayo, abarcaban una mayor diversidad de productos y reflejaban los cambios observados en la situación radiológica a fines de mayo. El nivel admisible de irradiación global que se utilizó como base para el cálculo de esas normas fue de 0,05 sievert (Sv).

Durante los primeros días y semanas posteriores al accidente, la contaminación radiactiva en los alimentos se debió fundamentalmente al yodo 131, que apareció, dos o tres días después del accidente, en la leche de las vacas que se alimentaban en pastizales. Durante ese período, en la región meridional de Bielorrusia, las zonas septentrionales de Ucrania y las provincias de la República Socialista Federativa Soviética Rusa (RSFSR) próximas a la región del accidente, los niveles de contaminación de la leche con yodo 131 fueron del orden de 0,04 a 0,4 MBq/L, es decir, decenas e incluso cientos de veces más altos que la norma establecida. Sin embargo, la contaminación fue mucho menor en la leche de las vacas estabuladas. En cada una de las provincias afectadas por la contaminación radiactiva se realizaron comprobaciones diarias con cientos de muestras de leche, lo que permitió obtener datos pormenorizados sobre los cambios en los niveles de contaminación de los productos agrícolas, tanto en cada una de las regiones como en todo el país. El análisis de esos datos corroboró la distribución logarítmic-normal de la concentración de yodo 131 en la leche de vaca, y estableció que la integral de la concentración de yodo 131 en la leche que se vendía a la población por medio del sistema centralizado era aproxi-

madamente  $107 \text{ Bq} \cdot \text{a} \cdot \text{L}^{-1}$  en la provincia Gomel'skaya, Bielorrusia; unos  $230 \text{ Bq} \cdot \text{a} \cdot \text{L}^{-1}$  en la provincia Mogilevskaya, Bielorrusia; y 10, 100 o incluso muchas más veces inferior en otras provincias y repúblicas. Al mismo tiempo, cabe señalar, por ejemplo, que el 17 de mayo de 1986, en las provincias de Bielorrusia mencionadas anteriormente entre el 20% y el 30% de la leche tenía un contenido de yodo 131 que excedía los  $3,7 \text{ kBq/L}$ .

La aplicación de todo un conjunto de medidas para controlar la contaminación de la leche con yodo 131 permitió disminuir notablemente la importancia de este factor en la exposición recibida por el público. Las evaluaciones han demostrado que, en comparación con las regiones donde no se adoptaron tales medidas porque los niveles absolutos de contaminación de la leche con yodo 131 no eran elevados, se logró disminuir en un factor de 5 a 20 las dosis individuales recibidas por el público en las zonas más contaminadas. La contribución total de la incorporación de yodo 131 por ingestión a la dosis total recibida por la población soviética fue de 2,5% (1,1% en Bielorrusia), en tanto que las máximas exposiciones individuales del tiroides se registraron en la región económica sudoccidental, que incluye 13 provincias de Ucrania (entre ellas Kievskaya, Chernigovskaya y Zhitomirskaya, es decir, las provincias colindantes con la región del accidente). La media de esas exposiciones en la región fue de 26 mGy para los niños de un año de edad; 8,2 mGy para los niños de 10 años y 2,6 mGy para los adultos.

Las mediciones directas de la concentración de isótopos de yodo en el tiroides realizadas durante los primeros meses después del accidente en 330 000 personas (de las cuales el 63% eran niños) que residían en los alrededores de la zona de evacuación de 30 kilómetros, mostraron que la actividad media del yodo 131 en ese órgano era inferior a 0,1 MBq. Esto corresponde a niveles de exposición unas 10 veces más altos que los valores medios citados anteriormente en relación con toda la región económica sudoccidental.

Para evaluar el nivel de ingestión de isótopos de cesio por alimentos contaminados se empleó información sobre el grado de contaminación de la leche, la carne, y las verduras en todas las regiones de la Unión Soviética. Se comprobó que, cuando el valor geométrico nacional medio de la relación entre la concentración de cesio 137 en la leche (en Bq/L) y la densidad de la contaminación del suelo (en  $\text{kBq/m}^2$ ) era 21, la relación en las regiones más contaminadas era casi 5 en la leche que se vendía a la población por medio del sistema centralizado. También se comprobó que la distribución de las muestras de actividad de cesio 137 en la leche vendida al público se avenía bastante bien a la ley logarítmico-normal, con una media geométrica de 43 Bq/L en Bielorrusia, 30 Bq/L en la región económica sudoccidental y 12 Bq/L en la región económica central (que incluye las 12 provincias de la RSFSR). Estos valores fueron entre 2 y 4 veces superiores en el caso del cesio 137 en la carne. Durante 1986 y 1987 se realizaron más de 300 000 mediciones del contenido de isótopos de cesio en el organismo humano, que indicaron que en casi el 80% de los casos la actividad del cesio 137 en el cuerpo humano no excedió de 1 kBq, mientras que el nivel esperado según los cálculos tipo era de entre 10 y

15 kBq. Para el país en general, la contribución de la ingestión de cesio 134 y cesio 137 a la dosis un año después del accidente fue de 13% y 20% respectivamente.

### Estimación de las dosis futuras de cesio

Predecir los efectos radiactivos de los isótopos de cesio en el organismo humano a corto y largo plazos es una tarea más difícil. Para elaborar esta estimación, se decidió utilizar los coeficientes de la transferencia de cesio 137 a los principales tipos de productos agrícolas que se obtuvieron en 1964-1986 a partir del análisis de los datos sobre la vigilancia de la contaminación del territorio soviético por la precipitación radiactiva derivada de los ensayos nucleares. Sobre la base de esos estudios se determinó que en la Unión Soviética el período de semi-desintegración del cesio 137 en la leche es de 8,4 años, es decir, que el componente suelo "no contaminado" del modelo de descontaminación para el cesio como elemento químico es de  $0,06 \text{ a}^{-1}$ . Partiendo de esos resultados, se consideró que la incorporación integral de cesio 134 y cesio 137 sería el 2,5 y el 12% de los niveles de incorporación de esos nucleidos durante el segundo año después del accidente. En el cálculo de las dosis colectivas se tuvo en cuenta también el crecimiento de la población en diversas regiones del país, pero se consideró que la pauta de consumo de alimentos se mantendría igual que en 1986. Este último supuesto podría dar lugar a cierta subestimación de los resultados de los cálculos, ya que en los últimos años se ha observado en la Unión Soviética una clara tendencia al aumento del consumo de carne y productos lácteos y una considerable disminución del consumo anual de papas y pan.

Atendiendo a esto último, se estima que la dosis comprometida colectiva de la población soviética a partir de la ingestión de isótopos de cesio es 117 000 Sv-hombre, y que sólo el 27% se puede atribuir al primer año. De aquí se infiere que la principal contribución a esa dosis se producirá en el segundo año después del accidente y en los posteriores, es decir, durante un período en que la exposición de la población a las radiaciones puede controlarse activamente mediante la estricta vigilancia de los productos agrícolas y la introducción de medidas agrotécnicas en las tierras contaminadas, incluida la reestructuración de las explotaciones agrícolas.

De conformidad con las directrices emitidas por el Comité Estatal del Complejo Agroindustrial de la URSS durante 1986 y 1987 se pusieron en práctica en las regiones contaminadas de Ucrania, Bielorrusia y la RSFSR un conjunto de medidas agrotécnicas y agroquímicas encaminadas a asegurar la idoneidad de los productos agrícolas para el consumo. Se araron las tierras a fondo y se aplicaron grandes cantidades de fertilizante inorgánico a cientos de miles de hectáreas de tierra contaminada en esas repúblicas. Actualmente se trabaja en el mejoramiento de las praderas y pastos, y se adoptan medidas para reducir la transferencia de sustancias radiactivas del suelo a los cultivos mediante la aplicación al suelo de cal, fertilizantes fosfóricos y potásicos, así como determinados sorbentes (zeolita). En el primer año de su aplicación, estas medidas han reduci-

do los niveles de contaminación radiactiva en los productos del agro en un factor de 1,5 a 3. La cabal aplicación de todas las medidas estipuladas por el Comité Estatal del Complejo Agroindustrial de la URSS dará lugar probablemente a una notable disminución de los niveles de exposición de la población a partir de los alimentos.

### Compromiso de dosis media per cápita

El compromiso general de dosis media per cápita de la población soviética será de 1,2 mSv, aproximadamente, lo que, tomando en cuenta la radiación de fondo total anual de la Unión Soviética, 1 mSv/a, dará como resultado la adición general de un 2% a la dosis provocada por la radiación de fondo natural. Esa cifra es unas dos o tres veces superior a la dosis recibida por la población de Hungría y de Italia, Suecia y otros países de Europa occidental que fueron afectados por la emisión accidental de la central de Chernobil.

Tras la adopción de todas esas medidas, la principal contribución a la dosis comprometida de la población soviética fue la de la radiación gamma externa provocada por la precipitación radiactiva que a raíz del accidente se depositó en el suelo (cerca del 60%), y cerca del 38% se debió a la exposición interna a partir del consumo de alimentos contaminados. Cabe destacar que en los centros de población donde no se adoptaron medidas preventivas debido a los bajos niveles absolutos de radiación y contaminación de los alimentos, hubo casos en los que la relación entre las exposiciones internas y externas del organismo un año después del accidente se acercó a 10. Prácticamente en todos los centros de población donde se vigiló la contaminación de los productos agrícolas y donde se rechazaron todos los productos alimenticios que no cumplían los requisitos establecidos, la relación entre las exposiciones interna y externa se acercó a 1.

### Creación de un registro sanitario

Con vistas a la observación biomédica a largo plazo de la población y los trabajadores se crearon centros científicos especiales y se elaboraron programas científicos complejos. Uno de los aspectos más importantes de esta labor es la creación de un registro de toda la Unión que incluirá a todas las personas que sufrieron radioexposición. En dicho registro figurarán todos los residentes, todas las personas que estuvieron allí temporalmente, los equipos que fueron trasladados al lugar para combatir el accidente y sus consecuencias, los hijos y nietos de las personas incluidas en los grupos antes mencionados (en una etapa posterior), y los evacuados de las zonas contaminadas. A fin de ayudar a establecer el registro se han preparado tarjetas de registro y dosimetría que deben rellenarse para toda persona que esté en observación.

En la tarjeta de registro consta la siguiente información: apellidos, nombre propio y patronímico, fecha y lugar de nacimiento, sexo, lugar de residencia, lugar donde estuvo expuesto a la radiación, duración de la exposición, información anamnésica sobre el estado de salud, si estaba embarazada cuando comenzó la exposi-

ción (cuántas semanas) o si quedó embarazada después de haberse iniciado la exposición, resultados del embarazo, datos sobre el hijo, causas del fallecimiento (adultos, niños, recién nacidos) y medidas adoptadas (hospitalización, yodo profiláctico).

La tarjeta de dosimetría contiene pormenores acerca de las características de la salud pública de la región y la magnitud de la exposición radiactiva de la persona (contaminación de la ropa, el calzado y el tegumento antes y después de la descontaminación). En la tarjeta se ofrece información sobre la carga de yodo 131 en el tiroides, que constituye un parámetro dosimétrico para el examen clínico de las personas sometidas a observación, e información sobre la dosimetría personal (medición de los biosubstratos, así como mediciones con el empleo de un contador de la radiactividad corporal total y otros instrumentos).

Las autoridades sanitarias locales son las encargadas de rellenar las tarjetas de registro y dosimetría, que luego se envían al Ministerio de Salud Pública de la república correspondiente y al Ministerio de Salud Pública de la URSS. Toda la información recogida en las tarjetas de registro pasará también a un registro que se mantendrá permanentemente en las instalaciones donde se llevan a cabo los exámenes. Los resultados que arrojen el primer examen y la evaluación de la dosis recibida determinarán la frecuencia de los exámenes. Se tienen en cuenta las medidas de precaución y protección aplicadas (profilaxis con yodo, evacuación, limitación de la incorporación de radionucleidos por inhalación e ingestión).

Como parte de las labores de registro se realizaron exámenes médicos de todo tipo a casi un millón de personas, de las cuales 700 000 (incluidos 216 000 niños) fueron sometidas a minuciosas pruebas analíticas dosimétricas y de laboratorio. Treinta y dos mil personas, incluidos 12 300 niños, fueron hospitalizadas para el examen.

En 1986 y 1987, varios equipos de especialistas altamente calificados (hematólogos, endocrinólogos, pediatras, radiólogos y otros), que trabajaron directamente en las regiones afectadas por la contaminación, analizaron el estado de salud de niños y adultos de la población y confirmaron la ausencia de desviaciones en la distribución sanitaria de esos grupos en comparación con el grupo de control.

No se observaron discrepancias en las pautas de los índices de morbilidad o de mortalidad infantil cuando se les comparó con los datos de los registros clínicos correspondientes a los 5 ó 6 años anteriores al accidente.

En una evaluación especializada se comprobó que las tendencias de embarazo, parto y puerperio en las mujeres examinadas no diferían de las de las regiones de control o de las tendencias observadas durante los años anteriores al accidente radiactivo. El número de niños nacidos en 1986 en las regiones contaminadas no difirió de la media. La proporción de niños nacidos muertos no superó la cifra correspondiente de la región de control. En Kiev, el Centro para el Cuidado de la Maternidad y la Infancia está confrontando la información sobre todas las mujeres que estaban embarazadas en el momento del accidente. Los datos provenientes de este Centro han confirmado que no se observaron efectos teratogénicos en ninguno de los niños nacidos vivos (efectos resultan-

tes de la irradiación del feto en el vientre de la madre durante el accidente de Chernobil).

El estudio endocrinológico realizado durante el período mencionado no reveló ningún caso de hipotiroidismo en recién nacidos o en sus madres como consecuencia de la radiación, ni aumento alguno en la incidencia de enfermedades hipotiroideas entre la población expuesta.

Los análisis realizados durante 1986 y 1987 con decenas de miles de hemogramas de los habitantes de las zonas contaminadas demostraron que la frecuencia con que los valores sanguíneos se desvían del promedio está comprendida dentro de la función de distribución normal de las personas prácticamente saludables. Ninguno de los estudios realizados puso de manifiesto diferencia alguna entre las personas expuestas y el grupo de control en cuanto a la frecuencia de variaciones específicas en los análisis de sangre.

Según los minuciosos estudios realizados en 1986 y 1987, en los niños expuestos a las radiaciones, no aumentó la morbilidad general ni se registró ningún aumento de formas nosológicas como neumonía, procesos de alergia o autoinmunológicos, anomalías cardiovasculares congénitas u otras enfermedades. El análisis de la incidencia de enfermedades infecciosas en la población residente en las zonas contaminadas indica que su nivel y estructura siguen la pauta general tanto de las regiones afectadas como del país en general. La comparación de los índices de enfermedades oncológicas en las regiones objeto de observación y en las zonas de control no reveló variaciones significativas. El nivel de neoplasmas malignos de los tejidos linfáticos y de formación sanguínea no mostró aumento alguno. Durante 1986 y 1987 no se registró ningún caso de leucemia entre los niños expuestos.

El análisis de los datos estadísticos no reveló aumento en el índice de enfermedades psiconeurológicas en la población de las regiones objeto de estudio. Sin embargo, en las entrevistas realizadas a parte de la población examinada se comprobó que poco después del accidente algunos mostraron síntomas de astenia con manifestaciones de lentitud mental y física y trastornos vegetativos. Al realizarse los exámenes se observó un aumento del nivel de ansiedad en la población adulta residente en zonas contaminadas situadas fuera del área de 30 kilómetros que rodea la central de Chernobil, provocado por la preocupación ante el peligro para la salud de los niños y la alteración de la vida cotidiana. Esa tensión y ese estado crónico de estrés están provocando en sectores de la población un síndrome de fobia a la radiación y podrían, dada la actual situación radiológica, plantear una amenaza para la salud aún mayor que la propia exposición a las radiaciones.

### Eficacia de las medidas adoptadas

Partiendo de la información anterior se puede afirmar que la vigilancia sistemática de la salud de la población y de la situación radiológica en los centros de población situados dentro de la zona contaminada ha confirmado la eficacia de las medidas de precaución y protección adoptadas en esas zonas. De ellas, merecen especial mención

la descontaminación de los centros de población, la evacuación por razones de salud de niños y mujeres embarazadas durante el verano, la vigilancia general y sistemática del nivel de contaminación de los alimentos de producción local en 1986 y 1987, el traslado del ganado lechero hacia sitios de pastos o forrajes no contaminados, y la prohibición del consumo de alimentos contaminados. Todas estas medidas redujeron notablemente la exposición del público a la radiación y permitió que la cifra media en las regiones más contaminadas de las provincias de Gomel'skaya, Kievskaya, Bryanskaya y Mogilevskaya descendiera a entre 10 y 15 mSv, menos del 50% de esta cifra se debió a la exposición interna al cesio 134 y el cesio 137. Sólo en el 0,5% al 1% de los casos examinados la exposición interna fue superior a los 50 mSv. Como quedó demostrado en estudios posteriores, los altos niveles de ingestión de isótopos de cesio entre los integrantes de este último grupo se debieron a la violación de las prohibiciones sobre el consumo de productos agrícolas contaminados de sus propias granjas. Dicho grupo, integrado principalmente por pensionistas, incluye a un grupo de jóvenes (operadores de maquinaria, criadores de ganado) que desatendió abiertamente las orientaciones de los órganos locales de salud pública relacionadas con la necesidad de sustituir los alimentos contaminados de producción local por productos no contaminados traídos de otros lugares.

Las evaluaciones muestran que la gama de medidas de precaución y protección aplicadas redujeron las exposiciones externas individuales en un factor de 2 a 3 en comparación con la dosis pronosticada, y que disminuyeron la dosis de radiación interna de la población en un factor de 10 o más. Las medidas agrotécnicas y sanitarias que, como ya se ha dicho, habrán de adoptarse en el futuro, reducirán probablemente el compromiso de dosis de la población de cada una de las regiones y de la Unión Soviética en su conjunto en comparación con los valores citados en este artículo.

En conclusión, es importante recalcar la necesidad de emprender en los años venideros un análisis amplio y exhaustivo de la vasta experiencia acumulada durante los trabajos realizados para eliminar las consecuencias del accidente de Chernobil. En este artículo sólo se ha tratado de identificar aquellos elementos de la protección radiológica que fueron teórica y prácticamente nuevos, y destacar los aspectos del trabajo científico que existían antes del accidente y que resultaron especialmente eficaces durante el período postaccidente. A continuación citamos los más importantes:

- Entre toda la gama de medidas adoptadas para proteger a la población, la distribución de yodo profiláctico demostró ser sumamente eficaz dadas las circunstancias tan poco usuales del accidente, que provocó una prolongada emisión de gases y aerosoles de la zona del reactor.
- Es imprescindible establecer normas relativas a la contaminación radiactiva admisible de determinados tipos de alimentos y formular principios sistemáticos para la vigilancia en gran escala del cumplimiento de esas normas mediante equipos muy sencillos.
- La experiencia corroboró el valor de la división en zonas del área contaminada alrededor del reactor dañado, y la aplicación de controles dosimétricos especiales