

## Una década después de Chernobil: Base de las decisiones

*Una importante conferencia internacional recapitula la interpretación científica de las principales consecuencias del accidente de Chernobil*

### Aspectos destacados de los resultados

Aunque en los últimos diez años se ha aprendido mucho sobre el trágico accidente de Chernobil ocurrido el 26 de abril de 1986, aún quedan importantes cuestiones por resolver. En sus esfuerzos por establecer el marco concreto para la ayuda permanente de la comunidad internacional, el OIEA, la Comisión Europea (CE) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) celebraron conjuntamente una importante conferencia internacional en abril de 1996 para recapitular la interpretación científica de las consecuencias del accidente. (Véase el recuadro de la pág. 17.) En sus conclusiones, la Conferencia publicó un Resumen de los Resultados formulado sobre la base de los informes y las exposiciones básicas presentados en la Conferencia; los documentos informativos preparados por grupos de expertos y los debates sobre éstos en la Conferencia; y las conclusiones de cada reunión técnica. La Secretaría Conjunta de la Conferencia recomendó que el Resumen se utilice como base de las decisiones relativas a la labor y colaboración futuras dirigidas a paliar las consecuencias del accidente de Chernobil. En el presente artículo figuran algunos aspectos destacados del Resumen de los Resultados de la Conferencia.\*

### Respuesta inicial al accidente

Hubo que adoptar medidas de emergencia con el fin de controlar la emisión de material radiactivo, cuidarse de los escombros despedidos por el reactor, y construir luego una estructura de contención de los restos del núcleo del reactor, el llamado "sarcófago", que quedó terminada en noviembre de 1986.

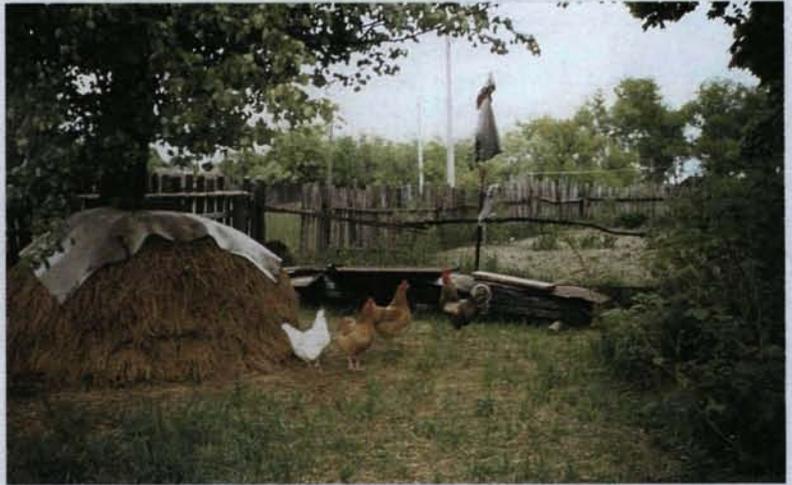
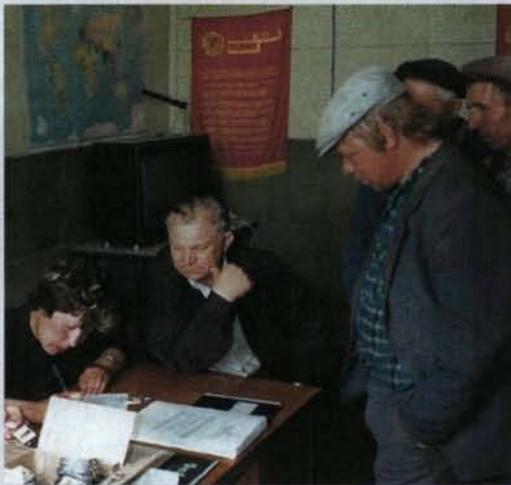
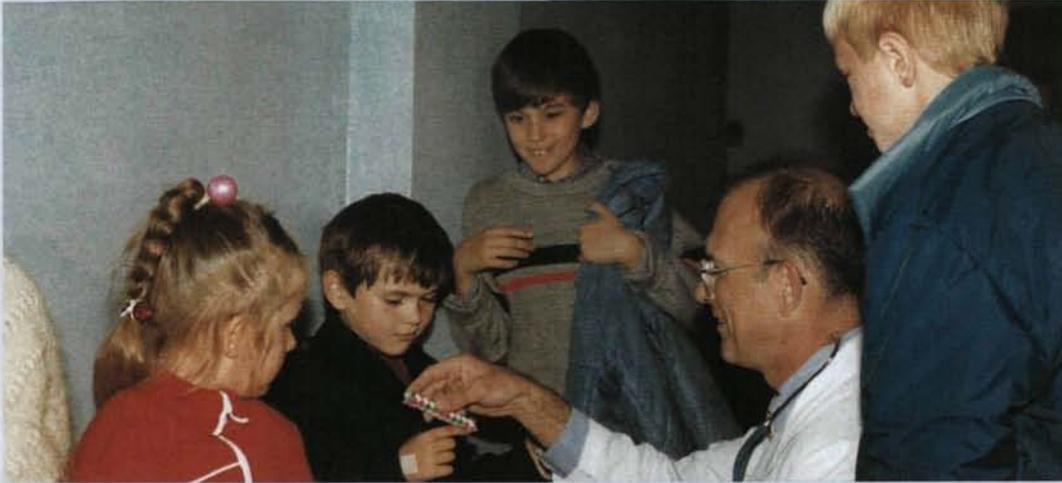
Las actividades de respuesta al accidente se llevaron a cabo por un gran número de trabajadores ad

hoc, con inclusión de operadores de la central, voluntarios de emergencia como bomberos y personal militar, además de muchos trabajadores no profesionales. Se utilizó el término ruso *likvidator* para identificar a todas estas personas. Alrededor de 200 000 "liquidadores" trabajaron en la región de Chernobil durante 1986 y 1987, período en que la exposición a las radiaciones fue más elevada. Formaban parte de unas 600 000 a 800 000 personas que, según los registros, intervinieron en las actividades relacionadas con la mitigación de las consecuencias del accidente. Estas cifras incluyen las personas que participaron en las operaciones de limpieza tras el accidente (comprendida la limpieza alrededor del reactor, la construcción del sarcófago, la descontaminación, la construcción de carreteras, y la destrucción y enterramiento de edificios, bosques y equipo contaminados), así como numeroso personal corriente que trabajó en los territorios llamados "contaminados" y que en general recibió dosis bajas.

Durante el período transcurrido entre el 27 de abril y mediados de agosto de 1986, alrededor de 116 000 habitantes fueron evacuados de sus viviendas, situadas en la región circundante de la central de Chernobil, con el propósito de protegerlos de la exposición a las radiaciones. Se estableció la denominada "zona prohibida", que abarcaba los terri-



\* El texto íntegro del Resumen se incluye en las actas de la Conferencia que el OIEA está preparando para su publicación.



Las dimensiones de largo alcance del accidente de Chernobil trascienden con creces sus efectos radiológicos, aunque éstos suelen acaparar casi toda la atención. Muchos de los problemas que aún encaran los habitantes de los pueblos y ciudades más gravemente afectados por el accidente tienen que ver con otros factores y su solución exige un estudio más profundo y la asignación de mayores recursos para su solución.

**Página anterior:** Cerca que rodea la zona prohibida de 30 kilómetros. Esta página, en el sentido de las manecillas del reloj, desde arriba a la izquierda: Médicos examinan niños en Ucrania; granja ubicada dentro de la zona de 30 km, donde algunas de las personas evacuadas han decidido regresar a sus hogares; habitantes de Belarús aprenden a medir los niveles de radiación en sus hogares; vista aérea de la central de Chernobil con el sarcófago a la derecha; agricultores reciben información sobre las evaluaciones de la radiación.

*(Cortesía: Mouchkin, OIEA, Pavlícek, OIEA; Gobierno de Belarús; Eric Vojce)*

torios con las tasas de dosis más elevadas, a la que se vedó el acceso público. Esta prohibición continuó en Belarús y Ucrania, países sucesores independientes tras la desintegración de la Unión Soviética. La zona prohibida abarca en total 4300 km<sup>2</sup>.

### Emisiones y depósito del material radiactivo

En la actualidad se estima que la actividad global de todos los materiales radiactivos emitidos en el accidente fue de aproximadamente  $12 \times 10^{18}$  Bq, incluidos unos  $6-7 \times 10^{18}$  Bq debidos a gases nobles\*. Fueron emitidos al exterior alrededor del 3% y el 4% del combustible usado en el reactor en el momento del accidente, así como hasta el 100% de los gases nobles y del 20% al 60% de los radionucleidos volátiles. Esta estimación actual de la radiactividad es más elevada que la notificada en 1986 por las autoridades soviéticas, que se efectuó sumando la actividad de los materiales depositados en los países de la antigua URSS. Con todo, esta reevaluación del término fuente no altera las estimaciones de las dosis individuales.

La composición en radionucleidos del material liberado en el accidente fue compleja. Los radisótopos del yodo y del cesio son de máxima importancia radiológica: los del yodo, de período corto de semidesintegración radiactiva, tuvieron el mayor impacto radiológico a corto plazo; los del cesio, con sus períodos de semidesintegración del orden de decenas de años, tienen el mayor impacto radiológico a largo plazo. Las estimaciones de la actividad de las cantidades de radionucleidos clave emitidos son las siguientes: yodo 131;  $\sim 1,3 - 1,8 \times 10^{18}$  Bq; cesio 134;  $\sim 0,05 \times 10^{18}$  Bq; cesio 137;  $\sim 0,09 \times 10^{18}$  Bq. Estos valores corresponden aproximadamente a entre el 50% y el 60% del yodo 131 contenido en el núcleo del reactor en el momento del accidente y a entre el 20% y el 40% de los dos radisótopos del cesio indicados.

Depósito del material. El material emitido a la atmósfera, tras una gran dispersión, se depositó finalmente en la superficie terrestre. Fue posible su medición prácticamente en todo el hemisferio septentrional.

La mayor parte del material se depositó en la región circundante del emplazamiento de la central, con una amplia variación de la densidad del depósito. Se estimó que las zonas de los territorios circunvecinos de Belarús, la Federación de Rusia y Ucrania, donde se midieron niveles de actividad del cesio 137 superiores a 185 kBq/m<sup>2</sup>, tenían una

\* La cantidad de un radionucleido determinado se expresa en función de la magnitud denominada "actividad", que corresponde al número de transformaciones nucleares espontáneas por unidad de tiempo que emiten radiaciones. Su unidad es la inversa de un segundo (s<sup>-1</sup>), denominada becquerelio.

extensión de 16 500 km<sup>2</sup>, 4600 km<sup>2</sup> y 8100 km<sup>2</sup>, respectivamente.

### Dosis de radiación

Las 200 000 personas que participaron en 1986-1987 en la "liquidación" de las consecuencias del accidente recibieron dosis medias del orden de los 100 mSv\*\*. Alrededor del 10% recibió dosis del orden de los 250 mSv; un porcentaje pequeño recibió dosis de más de 500 mSv; en tanto es posible que varias decenas de personas que primero respondieron al accidente hayan recibido dosis potencialmente letales de unos pocos miles de milisieverts.

Las 116 000 personas que fueron evacuadas de la zona prohibida en 1986 ya habían quedado expuestas a las radiaciones. Menos del 10% había recibido dosis de más de 50 mSv, y menos del 5%, dosis de más de 100 mSv.

Los radisótopos del yodo emitidos causaron dosis de radiación a la glándula tiroides\*\*\*. El yodo fue absorbido en el torrente sanguíneo, en general mediante la ingestión de alimentos, principalmente leche contaminada, así como por inhalación de la nube radiactiva inicial, y se acumuló en la glándula tiroides. Se previó que las dosis a tiroides serían particularmente elevadas en comparación con las que recibirían otros órganos del cuerpo, sobre todo en el caso de los niños.

El Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) evaluó las dosis a largo plazo a la población de diversos países del hemisferio septentrional a causa del accidente, incluidas las dosis medias en distintos países. El UNSCEAR estimó que las dosis individuales fuera de la antigua URSS resultantes del accidente fueron las siguientes: la dosis media nacional más elevada en el primer año fue de 0,8 mSv; la dosis comprometida media más elevada para la región de Europa en el

\*\* La magnitud denominada dosis de radiación es una medida de la energía que absorben los tejidos por unidad de masa de tejido, ponderada con respecto a la eficacia del tipo de radiación y la radiosensibilidad de los diversos tejidos del cuerpo. Su unidad es el sievert (Sv), con un submúltiplo, el milisievert (mSv) o una milésima de sievert. Como término de comparación, la dosis media de radiación anual mundial debida a la radiación natural de fondo es 2,4 mSv, con variaciones geográficas considerables. Por tanto, a lo largo de una vida tipo de 70 años, un individuo acumula una dosis media de  $2,4 \text{ mSv} \times 70 = 170 \text{ mSv}$  debida a la radiación natural de fondo.

\*\*\* Las dosis a órganos específicos suelen expresarse en grays (Gy). Para el tipo de radiación de que se trata aquí, a una dosis al tiroides equivalente (ponderada) de 1 Sv, una dosis de 1 Gy al tiroides corresponde a una dosis al tiroides equivalente (ponderada) de 1 Sv.

## Conferencia Internacional Una década después de Chernobil:Recapitulación de las consecuencias del accidente por Malcolm Crick

Del 8 al 12 de abril de 1996 en el Centro Internacional de Viena, el OIEA, la Comisión Europea (CE) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) auspiciaron conjuntamente una Conferencia Internacional para recapitular la interpretación científica de las principales consecuencias sociales, sanitarias y ecológicas del accidente de Chernobil. La Conferencia fue organizada en cooperación con el Departamento de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas



(DAHNU), la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Agencia para la Energía Nuclear de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (AEN/OCDE).

Asistieron a la Conferencia unos 800 científicos y funcionarios de gobierno de las esferas de la energía nuclear, la seguridad contra las radiaciones y la atención a la salud, así como más de 200 periodistas representantes de los medios de difusión. Participaron también representantes oficiales de alto nivel de los tres países más seriamente afectados por el accidente –Belarús, la Federación de Rusia y Ucrania– y delegados de casi 90 Estados y organizaciones intergubernamentales.

La Presidenta de la Conferencia fue la Dra. Angela Merkel, Ministra Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania, quien contó con la asistencia de un Gabinete integrado por científicos de alta categoría. Un Comité Asesor de expertos de alto nivel de Belarús, Rusia y Ucrania supervisó la organización y desarrollo de la Conferencia.

La Conferencia incluyó diversas reuniones en las que los expertos examinaron los resultados de la labor realizada hasta la fecha, incluidas las conclusiones de las dos principales conferencias internacionales, una celebrada en noviembre de 1995 por la OMS y la otra en marzo de 1996 auspiciada por la CE en Minsk. Asimismo, la Conferencia examinó el resultado del Foro Internacional OIEA/DANHU sobre aspectos de seguridad nuclear que se celebró en Viena la semana previa a la Conferencia. Los discursos inaugurales fueron pronunciados por el Director General del OIEA, Dr. Hans Blix; el Director General de la OMS, Hiroshi Nakajima; H. Tent, Director General Adjunto de la CE para la Investigación y el Desarrollo Científicos; y M. Griffiths, Director del DAHNU. En la Conferencia formularon también declaraciones por sus respectivos países Alyaksandr Lukashenko, Presidente de Belarús; A. Shoigu, Ministro de Emergencias de Rusia, y Yevgeni Marchuk, Primer Ministro de Ucrania.

En un Seminario informativo se presentaron siete exposiciones básicas a cargo de representantes de la UNESCO, el UNSCEAR,



La Ministra alemana de Medio Ambiente, Dra. Merkel, que fue la Presidenta de la Conferencia, conversa con un participante en la muy concurrida Conferencia Internacional sobre Chernobil celebrada en Viena.  
(Cortesía: Pavlicek, OIEA)

la FAO y la AEN/OCDE, así como de organizaciones de Alemania, el Japón y los Estados Unidos, sobre los resultados de los principales proyectos de asistencia bilateral ejecutados después de Chernobil.

En el Simposio técnico se celebraron ocho sesiones monográficas independientes sobre una diversidad de temas sociales, sanitarios y ecológicos. Los temas incluyeron los efectos observados clínicamente; los efectos en el tiroides; los efectos en la salud a más largo plazo; otros efectos relacionados con la salud incluidos los efectos psicológicos, el estrés y la ansiedad; las consecuencias para el medio ambiente; el impacto social, económico, institucional y político; las medidas reparadoras en materia de seguridad nuclear; las consecuencias en perspectiva y un pronóstico para el futuro. Para cada sesión los comités de expertos de alto nivel, incluidos expertos de Belarús, Rusia y Ucrania, nominados por el Comité Asesor, prepararon de antemano documentos informativos. En cada sesión monográfica el Relator presentó el documento informativo pertinente y los documentos científicos conexos en una sesión de carteles. El debate iniciado posteriormente resultó extremadamente estimulante y animado. Las conclusiones de cada sesión fueron informadas al Gabinete de la Presidenta y resumidas en la sesión final del Simposio técnico. Además de los debates en la sesión plenaria, se presentaron unos 181 carteles científicos individuales, así como 12 exposiciones técnicas de proyectos clave. El último día tuvo lugar un coloquio de expertos muy estimulante con representantes de los medios de difusión, la ciencia y el gobierno, en el que se exploró más a fondo la percepción del público respecto de las consecuencias del accidente de Chernobil y se trató de responder por qué difería de la de los expertos.

El OIEA está preparando las actas de la Conferencia, incluido un resumen de los resultados, para su publicación. También se puede obtener información por conducto de Servicios World Atom del OIEA en Internet en <http://www.iaea.or.at/worldatom/thisweek/preview/chernobyl>.

El Sr. Crick, funcionario del Departamento de Seguridad Nuclear del OIEA, fue Secretario Científico de la Conferencia.

período de 70 años que finaliza en el 2056 se estimó en 1,2 mSv. En el Proyecto Internacional de Chernobyl se estimó que las dosis comprometidas más elevadas para los 70 años a partir de 1986 hasta el 2056, en el caso de los habitantes de los territorios más contaminados, eran del orden de los 160 mSv. Estudios recientes más detallados han arrojado resultados similares.

### Efectos en la salud

**Efectos observados clínicamente.** Se indicó que un total de 237 personas expuestas profesionalmente sufrían síndromes clínicos atribuibles a la exposición a las radiaciones y fueron hospitalizadas. En 134 casos se diagnosticó el síndrome de radiación agudo. De ellos, 28 murieron a causa de radiolesiones, todos en los primeros tres meses. Dos personas más murieron en la Unidad 4 por lesiones no relacionadas con las radiaciones (hubo una muerte adicional que se consideró debida a una trombosis coronaria).

Las lesiones gastrointestinales constituyeron un problema grave, causando con rapidez alteraciones letales en la función intestinal de 11 pacientes que habían recibido dosis superiores a los 10 Gy. La muerte de 26 de los 28 pacientes que fallecieron estuvo relacionada con lesiones de la piel que afectaban a más del 50% de la superficie total del cuerpo. Después de la fase aguda, murieron otros 14 pacientes en los últimos 10 años; sin embargo, su muerte no se corresponde con la gravedad inicial del síndrome de radiación agudo y, por tanto, no es necesariamente —en algunos casos no lo es con certeza— atribuible a la exposición a las radiaciones como causa directa.

Sin duda los pacientes recibieron el mejor tratamiento posible, con arreglo a los conocimientos de entonces, en el centro de mayor experiencia que existía. Pese a todo, la terapia de trasplante de médula ósea recomendada en esa época resultó poco beneficiosa. Con los conocimientos actuales, esto es fácilmente comprensible en vista de los riesgos inmunológicos que implica el procedimiento, de la heterogeneidad de las características de exposición y de otras complicaciones debidas a los daños radioinducidos tales como lesiones cutáneas o gastrointestinales que fue imposible tratar. En el futuro el mejor tratamiento posible de los daños a la médula ósea es la administración inmediata de factores de crecimiento hemopoético. De todos modos, es necesario determinar la combinación y dosificación más ventajosa de los mismos. Para otros daños radioinducidos se dispone ahora de nuevos instrumentos de diagnóstico que pueden facilitar un pronóstico más exacto y un tratamiento más adaptado a cada caso particular.

En la actualidad los pacientes más gravemente afectados sufren múltiples dolencias, incluidos los efectos de la angustia mental, y necesitan tratamientos avanzados y medidas preventivas contra los efectos secundarios. Es preciso asegurar la asistencia médica a esos pacientes, y su estado de salud debe vigilarse durante las dos o tres décadas venideras. En el contexto de los cuadros clínicos que se presenten será importante distinguir entre los que son atribuibles a la exposición a las radiaciones y los que se deben a factores causantes de confusión, inherentes a las poblaciones afectadas por el accidente.

**Efectos en el tiroides.** La única prueba clara hasta la fecha de los efectos en la salud pública causados por la exposición a las radiaciones resultantes del accidente de Chernobyl es un aumento muy pronunciado de la incidencia del cáncer de tiroides entre las personas de las zonas afectadas que eran niños en 1986. (En el informe sobre el Proyecto Internacional de Chernobyl, redactado en 1991, se dice que "se prevé para las próximas décadas un exceso de casos de cáncer de tiroides debido a la radiación. Este riesgo guarda relación con las dosis al tiroides recibidas en los primeros meses después del accidente..."\*) Este aumento de la incidencia se ha observado en Belarús y en menor grado en Ucrania y la Federación de Rusia. El número de casos notificados hasta el fin de 1995 es de aproximadamente 800 niños que tenían menos de 15 años en el momento del diagnóstico; más de 400 de estos casos se produjeron en Belarús. En la mayor parte de los casos, expertos internacionales han confirmado el diagnóstico.

Este aumento se ha observado en los niños que nacieron antes del accidente o en los seis meses siguientes; la incidencia del cáncer de tiroides en los niños nacidos más de seis meses después del accidente desciende drásticamente hasta los bajos niveles que cabe esperar en las poblaciones no expuestas. Además, los casos de cáncer de tiroides se manifiestan en su mayor parte en las zonas que se piensa han sido contaminadas por yodo radiactivo a consecuencia del accidente. Así pues, tanto la distribución cronológica como la geográfica indican claramente que existe una relación entre el aumento del cáncer de tiroides y la exposición a las radiaciones. Además, como la glándula tiroides concentra el yodo, se supone que los agentes causantes del aumento de la incidencia del cáncer de tiroides en los niños son uno o más radisótopos de dicho elemento.

Los análisis de la exposición por edades confirmaron la hipótesis de que los niños de muy

\* Véase The International Chernobyl Project, Technical Report, *Assessment of Radiological Consequences and Evaluation of Protective Measures*, Part F: Health Impact, Sección 3.11.3, pág. 389, publicado por el OIEA (1991).

corta edad fueron los más vulnerables. Se considera ahora posible que persista el aumento de la incidencia del cáncer de tiroides en las personas expuestas cuando eran niños pequeños. Esto podría incrementar la frecuencia de este cáncer en el grupo afectado en el futuro, exigiendo suficientes recursos para encarar tal eventualidad.

En la actualidad, el período mínimo de latencia entre la exposición y el diagnóstico de cáncer de tiroides parece ser de alrededor de cuatro años. Este período es algo menor que el previsto sobre la base de experiencias anteriores relacionadas con la exposición aguda a la radiación externa.

Hasta la fecha solamente tres niños, del conjunto de casos diagnosticados, han muerto por cáncer de tiroides. Estos tipos de cáncer papilar tiroideo son los niños, posteriores a Chernobil, a pesar de su agresividad, parecen responder favorablemente a los métodos terapéuticos normales si éstos se aplican de manera adecuada; ahora bien, por el momento solamente se dispone de datos de seguimiento relativos a un corto período. Es, pues, necesario hacer un seguimiento completo y continuo de los niños afectados a fin de establecer la terapia óptima. Tras la tiroidectomía es preceptivo administrar L-tiroxina a los niños durante toda la vida.

Es muy difícil predecir la magnitud de la incidencia futura del cáncer de tiroides como resultado del accidente de Chernobil. Subsisten incertidumbres en cuanto a las estimaciones de dosis y, aunque no es seguro que el aumento actual de la incidencia se mantenga en el futuro, muy probablemente continuará durante varias décadas. De persistir el elevado riesgo relativo actual, a lo largo de las próximas décadas aumentará sustancialmente la incidencia del carcinoma de tiroides en los adultos que recibieron altas dosis de radiación cuando eran niños.

En caso de accidente en el futuro, se deberían tomar, en condiciones estrictamente definidas, medidas acreditadas para la protección de las poblaciones vulnerables contra la exposición del tiroides al yodo radiactivo, tales como evitar el consumo de alimentos contaminados y la profilaxis con yodo mediante la distribución de dosis farmacológicas de yodo estable. En la población de los alrededores de la central de Chernobil es tradicional la carencia de yodo, y se recomienda en todo caso remediar esta carencia consumiendo sal yodada con los alimentos.

**Efectos en la salud a más largo plazo.** Además del aumento confirmado de la incidencia del cáncer de tiroides en los jóvenes, en ciertos informes se señala un crecimiento de la incidencia de enfermedades malignas específicas en algunas poblaciones de territorios contaminados y en los liquidadores. Ahora bien, estos informes no son coherentes y los aumentos comunicados podrían

reflejar diferencias en el seguimiento de las poblaciones expuestas y un mayor grado de detección tras el accidente de Chernobil; posiblemente sea necesario seguir investigando.

La leucemia, enfermedad poco frecuente, es una de las principales causas de preocupación después de la exposición a las radiaciones. Según los modelos de predicción (basados en datos provenientes de los sobrevivientes de los bombardeos atómicos del Japón y otros), cabría esperar, en teoría, pocos casos mortales por leucemia radioinducida. El total previsto de muertes adicionales por leucemia sería del orden de los 470 entre los 7,1 millones de habitantes de territorios "contaminados" y "zonas de control estricto", número que sería imposible distinguir de la incidencia espontánea de alrededor de 25 000 muertes. Entre los 200 000 liquidadores (que trabajaron en 1986 y 1987), el total previsto sería del orden de los 200 casos mortales frente a una incidencia espontánea de 800 muertes por leucemia. Con arreglo a los modelos actuales, se habría previsto que aproximadamente 150 de esos 200 casos más de muerte por leucemia entre los liquidadores hubiesen ocurrido en los primeros diez años después de la exposición, período para el que la incidencia espontánea es de 40. En resumen, hasta la fecha no se ha detectado un aumento coherente atribuible en la tasa de leucemia ni en la incidencia de cualquier enfermedad maligna distinta del carcinoma de tiroides.

Aplicando los modelos de predicción, se calcula que el número de cánceres mortales causados por el accidente entre los 7,1 millones de habitantes de "territorios contaminados" y "zonas de control estricto", será del orden de los 6600 en los próximos 85 años, frente a una incidencia espontánea de 870 000 muertes por cáncer. Como ya se ha indicado en el informe sobre el Proyecto Internacional de Chernobil, sería difícil distinguir, incluso con estudios epidemiológicos a largo plazo, amplios y bien concebidos, aumentos futuros por encima de la incidencia natural de todos los tipos de cáncer, salvo el de tiroides, o efectos hereditarios entre el público.

Se han notificado aumentos de la frecuencia en las poblaciones expuestas, y en particular entre los liquidadores, de cierto número de efectos no específicos perjudiciales para la salud, distintos del cáncer. Es difícil interpretar estas observaciones ya que el estado de salud de las poblaciones expuestas es objeto de un seguimiento mucho más intensivo y activo que el de la población en general. Todos estos aumentos, si son reales, también pueden reflejar los efectos del estrés y la ansiedad.

Se deben mejorar los registros existentes sobre cáncer y mortalidad basados en la población o, cuando proceda, se deben establecer tales registros. Además, se deben llevar a cabo estudios específicos para investigar los aumentos señalados en los informes y también los aumentos previstos, en

particular los de leucemia entre los liquidadores. Esto se debe hacer usando protocolos cuidadosamente diseñados y aplicados de manera uniforme para analizar los factores causantes de confusión, y posiblemente distinguir sus efectos.

**Consecuencias psicológicas.** Durante los últimos diez años se han realizado varios estudios y programas importantes para determinar los efectos sociales y psicológicos del accidente de Chernobil. Estos estudios han confirmado las observaciones anteriores (entre ellas las del Proyecto Internacional de Chernobil) de que existen importantes trastornos de la salud y síntomas de tipo psicológico en las poblaciones afectadas por dicho accidente, tales como ansiedad, depresión y diversas afecciones psicossomáticas atribuibles a la angustia mental. Es extremadamente difícil distinguir los efectos psicológicos del accidente de Chernobil de los efectos de las dificultades económicas y de la desintegración de la URSS.

Los efectos psicológicos del accidente de Chernobil fueron resultado de la falta de información pública, en particular inmediatamente después del accidente, del estrés y el trauma debidos al reasentamiento, de la ruptura de las relaciones sociales, y del temor de que toda exposición a las radiaciones es perjudicial y puede causar daños en la salud de las personas y la de sus hijos en el futuro. Es comprensible que la gente a la que no se dijo la verdad durante varios años después del accidente continúe siendo escéptica a las declaraciones oficiales y creyendo que las enfermedades de todo tipo que ahora parecen más frecuentes se deben forzosamente a las radiaciones. La angustia causada por esta visión errónea de los riesgos radiológicos es sumamente perjudicial para la población.

La falta de consenso acerca de las consecuencias del accidente y la politización con que éstas se han abordado han producido en la población efectos psicológicos generalizados, graves y prolongados. Estas perniciosas secuelas incluyen sentimientos de desamparo y desesperación, que conducen al retraimiento social y a la pérdida de esperanza en el futuro. Tales efectos son prolongados por el interminable debate sobre los riesgos radiológicos, las contramedidas y la política social en general, y también por la existencia del cáncer de tiroides atribuido a las exposiciones iniciales.

Existe la necesidad urgente de fomentar la confianza en la capacidad personal para introducir un cambio positivo en la vida de cada cual, fomentar proyectos en pequeña escala y de tipo comunitario para mejorar la situación local y respaldar a las organizaciones que promueven la rehabilitación de la población afectada, aumentar los conocimientos del público sobre los efectos de las radiaciones en la salud y sobre protección radiológica, así como de desarrollar, integrar y mantener las redes existentes de autoridades

locales, especialistas e investigadores en la esfera social y psicológica.

### Consecuencias sobre el medio ambiente

En lo que respecta a las consecuencias directas sobre los animales y las plantas, las dosis de radiación llegaron a ser mortales para algunos ecosistemas locales radiosensibles, especialmente en las coníferas y algunos mamíferos pequeños, en un radio de 10 km desde el emplazamiento del reactor, en las primeras semanas después del accidente. En el otoño de 1986 las tasas de dosis se habían reducido a la centésima parte. En 1989, el medio ambiente natural de esas localidades había comenzado a recuperarse. No se han observado efectos graves prolongados en la población o los ecosistemas. Está por estudiar la posibilidad de efectos genéticos de larga duración y su importancia.

En el caso de las poblaciones humanas, la importancia de la contaminación ambiental depende de las vías de exposición. Las vías principales son la irradiación externa causada por los materiales radiactivos depositados en el suelo y la irradiación interna debida a la contaminación de los alimentos. En las primeras semanas después del accidente los radionucleidos de mayor importancia radiológica fueron los del yodo. Desde 1987, la mayor parte de la dosis radiactiva recibida se ha debido al cesio 134 y al cesio 137, con una pequeña contribución del estroncio 90, mientras el plutonio 239 ha hecho una contribución mínima a la dosis.

Varios artículos que forman parte de la dieta normal se contaminaron con materiales radiactivos. Poco después del accidente, alimentos básicos como la leche y las hortalizas presentaban niveles de contaminación superiores a los valores que hoy día considera aceptables la Comisión del Codex Alimentarius OMS/FAO, fijados como niveles de contaminación máximos admisibles para los alimentos que son objeto de comercio internacional. (Estos niveles se establecen ahora globalmente en las Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación.) Existen algunas interrogantes con respecto a la eficacia de las medidas de control que se adoptaron en las primeras fases siguientes al accidente.

Las contramedidas resultan relativamente ineficaces para reducir las exposiciones externas pero pueden tener gran efectividad para reducir la absorción de materiales radiactivos. A largo plazo, la aplicación adecuada de contramedidas en la agricultura puede reducir la absorción de cesio por los alimentos. La eficacia de las contramedidas depende de condiciones locales tales como el tipo

de suelo. Por ejemplo, en algunas localidades donde la cantidad de cesio depositado en el suelo fue relativamente pequeña, la transferencia a la leche pudo, sin embargo, alcanzar valores altos. En general, ningún alimento producido en granjas colectivas sobrepasa actualmente los niveles del Codex Alimentarius OMS/FAO, aunque ocurre lo contrario con algunos de los artículos que producen los agricultores privados.

El medio ambiente seminatural, es decir con características intermedias entre las de las tierras dedicadas a la agricultura y las de los medios naturales, puede tener una influencia predominante en los niveles de las dosis futuras a la población humana. El factor de transferencia de los radionucleidos del suelo a la leche de las vacas que pastan en praderas varía en un intervalo de varios centenares, según el tipo de suelo. Algunos productos alimenticios derivados de animales que pastan en prados seminaturales, bosques y zonas montañosas, así como los alimentos de origen silvestre (por ejemplo, la caza, las bayas y las setas) continuarán mostrando niveles de cesio 137 que sobrepasen los del Codex Alimentarius —en algunos casos con gran diferencia— durante las próximas décadas y es probable que sean una causa principal de dosis internas en el futuro.

Las tasas de dosis locales debidas a los materiales radiactivos enterrados en el emplazamiento de Chernobyl pueden ser considerables. Además, para la gestión metódica de los depósitos provisionales de residuos radiactivos del accidente, se deberían estudiar las posibilidades de contaminación de las aguas subterráneas locales a largo plazo.

### **Efectos sociales, económicos, institucionales y políticos**

Entre 1990 y el final de 1995 las autoridades decidieron seguir reasentando a la población de Ucrania (alrededor de 53 000 personas), Belarús (aproximadamente 107 000 personas) y la Federación de Rusia (unas 50 000 personas). La evacuación y el reasentamiento han creado varios problemas sociales graves vinculados a las dificultades y pruebas que supone la adaptación a nuevas condiciones de vida.

Los indicadores demográficos de las regiones "contaminadas" han empeorado: la tasa de natalidad ha descendido y la fuerza laboral emigra de las zonas "contaminadas" a las "no contaminadas", creando escasez de mano de obra y personal profesional.

Las medidas de control impuestas por las autoridades para limitar la exposición a las radiaciones en los territorios "contaminados" han limitado también las actividades industriales y agrícolas.

Además, la actitud de la población en general hacia los productos provenientes de zonas "contaminadas" dificulta la venta o la exportación de la producción, con lo que disminuyen los ingresos a nivel local.

Las restricciones a las actividades habituales de la población hacen que la vida cotidiana sea difícil y angustiosa. En los últimos años se han tomado medidas importantes de rehabilitación. Sin embargo, es necesario proporcionar al público más y mejor información sobre las disposiciones adoptadas para limitar las consecuencias del accidente, los actuales niveles de radiación y las concentraciones de radionucleidos medidas en los alimentos.

Las condiciones sociales y económicas de la población que vive y trabaja en los territorios "contaminados" dependen en gran medida de los subsidios públicos. Si hubiera que reconsiderar el sistema de indemnizaciones en vigor, algunos de los fondos se podrían canalizar hacia nuevos proyectos industriales y agrícolas.

Las consecuencias del accidente de Chernobyl y las medidas de respuesta adoptadas, agravadas por los cambios políticos, económicos y sociales de los últimos años, han originado un empeoramiento de la calidad de vida y la salud pública así como efectos desfavorables en la actividad social. La situación se complicó aún más en los años posteriores al accidente por la insuficiencia e inexactitud de la información pública sobre las consecuencias del siniestro y las medidas para su mitigación.

### **La seguridad nuclear y el sarcófago**

La causa principal del accidente de Chernobyl reside en la coincidencia de deficiencias graves en el diseño del reactor y el sistema de parada con la violación de los procedimientos de explotación. La inexistencia de una "cultura de la seguridad" en las organizaciones competentes de la Unión Soviética originó la incapacidad de remediar esos defectos de diseño, pese a que se conocían antes del accidente.

Además de estos factores directamente relacionados con las causas del accidente, el diseño original de las centrales dotadas de reactores RBMK (reactores soviéticos refrigerados por agua ligera y moderados por grafito) tenía otras deficiencias. En particular, el diseño original de la primera generación de reactores RBMK no alcanza los objetivos actuales de seguridad. También hay que dedicar más atención a las restantes deficiencias, como la de la contención parcial.

Según un enfoque dinámico en materia de seguridad, hay que mejorar debidamente o parar todas las centrales nucleares que no alcanzan un nivel de seguridad internacionalmente aceptable.

En septiembre de 1991, la Conferencia del OIEA sobre seguridad de la energía nucleoelectrónica: Estrategia para el futuro, expresó su consenso de que las normas de seguridad de las centrales más antiguas en funcionamiento deberían cumplir razonablemente los objetivos actuales de seguridad. Para garantizar un nivel aceptable de seguridad de las instalaciones nucleares y promover la confianza del público en la energía nuclear, sigue siendo de importancia primordial el empeño activo de alcanzar esa meta.

En los últimos diez años se ha adoptado un número considerable de medidas reparadoras para aumentar la seguridad nuclear de las centrales provistas de reactores RBMK: inmediatamente después del accidente de Chernobí se tomaron medidas técnicas y de organización, realizándose también mejoras de la seguridad entre 1987 y 1991, las cuales pusieron fundamentalmente remedio a las deficiencias de diseño que contribuyeron al accidente. Asimismo se han realizado progresos en esferas tales como dirección de las centrales, capacitación de personal, ensayos no destructivos y análisis de la seguridad. Como resultado de ello, parece que ya no es prácticamente posible que se repita un accidente con el mismo escenario. Pese a ello, no puede descartarse la posibilidad de otros accidentes que originen emisiones considerables.

Existen planes para introducir en todas las centrales RBMK nuevas mejoras de la seguridad y subsanar las deficiencias de diseño de este tipo de reactor no directamente relacionadas con el accidente de Chernobí. La ejecución de estos planes se está retrasando más de lo debido porque los países de que se trata carecen de los recursos necesarios.

La realización expedita de lo que se acordó que era necesario y ya se ha planificado reviste la máxima prioridad tanto para los programas nucleares nacionales como para la cooperación internacional: hay que introducir las mejoras de la seguridad necesarias independientemente de que se esté considerando una pronta clausura de las centrales; hay que dedicar más recursos a aumentar la seguridad de las centrales RBMK actualmente en funcionamiento; debe reforzarse la posición de las autoridades reguladoras nacionales y de sus organizaciones de apoyo.

Al igual que en otras unidades RBMK, también se realizaron en la central de Chernobí readaptaciones a posteriori. Sin embargo, las inquietudes acerca de la seguridad de las unidades RBMK no sólo se deben a las deficiencias genéricas de diseño, sino también a la calidad del equipo.

La decisión de las autoridades ucranias de cerrar las restantes unidades de Chernobí no es motivo para desatender la necesidad de medidas y readaptaciones a posteriori para su seguridad durante el tiempo de funcionamiento que les queda.

**El sarcófago.** El sarcófago que se construyó alrededor del reactor destruido contiene actualmente unas 200 toneladas de combustible irradiado y no irradiado, mezcladas con otros materiales en formas diversas, principalmente en forma de polvo. Se estima que la actividad total de estos materiales es de  $700 \times 10^{15}$  Bq de radionucleidos de período largo. Durante los últimos 10 años el sarcófago ha cumplido los objetivos establecidos con fines protectores. A largo plazo, sin embargo, su estabilidad y la calidad de su contención son dudosas. El desmoronamiento de la construcción podría originar una emisión de polvo radiactivo y la exposición del personal que trabaja en el emplazamiento a las radiaciones. Ahora bien, incluso en el peor de los casos, no cabría esperar efectos de gran extensión (en un radio de más de 30 km).

Se ha comprobado que el sarcófago es actualmente seguro desde el punto de vista de un fenómeno de criticidad. No puede descartarse completamente la existencia de configuraciones de masas de combustible dentro del sarcófago que pudieran alcanzar un estado crítico si entraran en contacto con agua. Sin embargo, incluso aunque un fenómeno de este tipo produjera niveles de radiación elevados dentro del sarcófago, no cabría esperar emisiones grandes fuera del emplazamiento. Es necesario aclarar los efectos que podría tener una situación de este tipo sobre el personal del emplazamiento.

Las opiniones difieren mucho sobre la importancia del riesgo de accidente en la Unidad 3 de Chernobí a causa del desmoronamiento del sarcófago. Se requieren investigaciones más detalladas sobre este asunto.

La seguridad de las restantes unidades y la estabilidad del sarcófago no son las únicas cuestiones importantes que quedan por resolver en el emplazamiento de Chernobí. Existen otras preocupaciones debidas a las posibilidades de contaminación, especialmente por el material radiactivo enterrado en el emplazamiento. Estas cuestiones están interrelacionadas, por lo que es preciso un enfoque integral para resolverlas. La propuesta de construir una segunda protección por encima del sarcófago debería ser parte de dicho enfoque. Las actividades financiadas por la Comisión Europea en esta esfera han contribuido a lograr ese enfoque integral. Ahora es menester generalizarlo con un aprovechamiento más eficaz de los conocimientos técnicos de las organizaciones competentes de la antigua URSS. Para cerciorarse de la seguridad ecológica del sarcófago son necesarias actividades de investigación y desarrollo de un diseño adecuado.

Un procedimiento basado en consideraciones de costos-beneficios exige adoptar medidas apropiadas, en consonancia con el avance de los estudios y con la situación financiera. La primera medida debería ser la estabilización del sarcófago

existente. Con ello se reduciría significativamente el riesgo de desmoronamiento y se ganaría el tiempo necesario para una cuidadosa planificación de otras medidas (como sería una segunda protección).

## Perspectivas y pronóstico

La rehabilitación plena de la zona prohibida no es posible actualmente debido a: la existencia de "puntos calientes" de contaminación cerca de las zonas habitadas; la posibilidad de contaminación radiactiva local de las aguas subterráneas; el riesgo derivado del posible desmoronamiento del sarcófago; y las estrictas restricciones impuestas al régimen de alimentación y al estilo de vida.

Toda estimación del número total de tipos de cáncer mortal y no mortal atribuibles al accidente debería interpretarse con precaución en vista de las incertidumbres inherentes a las suposiciones en que esa estimación debe basarse. Con todo, esas proyecciones ofrecen una perspectiva de la magnitud de los efectos a largo plazo y ayudan a precisar los temas que requieren atención especial, tanto ahora (por ejemplo, la incidencia de la leucemia entre los liquidadores y del cáncer de tiroides entre los niños residentes en zonas "contaminadas") como en el futuro.

Hay una gran discrepancia entre el número de casos de cáncer de tiroides que se manifiestan en los que eran niños en el momento del accidente y el número de casos de dicho cáncer pronosticado sobre la base de modelos estándar de dosimetría del tiroides y de proyección actual de los riesgos. Esta diferencia puede ser resultado de varios factores propios del accidente, no incorporados típicamente en los modelos estándar. Es importante aclarar estas cuestiones así como continuar los programas de detección de tumores tiroideos.

Lo más probable es que continúe, durante varios decenios, el aumento de la incidencia del cáncer de tiroides. Aunque no es posible predecirlo con certeza sobre la base de los datos actuales, el número estimado de casos de cáncer de tiroides que cabría prever entre los que eran niños en 1986 es del orden de unos pocos miles. El número de casos mortales debería ser muy inferior a éste, si el cáncer se diagnostica precozmente y se aplica el tratamiento apropiado. Estas personas deben continuar siendo observadas cuidadosamente de por vida.

Pese a los amplios conocimientos científicos y médicos adquiridos sobre los efectos de las radiaciones, subsisten importantes interrogantes sobre esos efectos en la salud humana. Es necesario seguir impulsando las investigaciones de los efectos biológicos de las radiaciones.

Diferentes factores, como una situación económica difícil, están teniendo un pronunciado efecto sobre la salud de la población en general, in-

cluidos los diversos grupos expuestos a causa del accidente. Las estadísticas de las poblaciones expuestas se están examinando bajo el prisma del evidente aumento general de la morbilidad y la mortalidad en los países de la antigua Unión Soviética, al objeto de evitar la interpretación errónea de estas tendencias atribuyéndolas al accidente.

La forma en que la opinión pública percibe los efectos presentes y futuros del accidente quizás se haya exacerbado con las difíciles circunstancias socioeconómicas existentes entonces en la URSS, las contramedidas que las autoridades tomaron para reducir al mínimo las consecuencias del accidente y la impresión que causan en el público los riesgos derivados de los persistentes niveles de contaminación radiactiva.

La experiencia resultante de anteriores accidentes no relacionados con las radiaciones muestra que los efectos psicológicos pueden persistir largo tiempo. De hecho, diez años después del accidente de Chernobil, la evolución de los síntomas no ha finalizado. Cabe esperar que la importancia de estos efectos disminuya con el tiempo. Sin embargo, el permanente debate sobre los riesgos radiológicos y las contramedidas, junto con el hecho de que ahora se están manifestando los efectos de las exposiciones iniciales (es decir, el aumento significativo del cáncer de tiroides entre los niños), puede prolongar los síntomas. Al evaluar los efectos psicológicos, deben considerarse las consecuencias psicológicas del desmembramiento de la URSS, y todo pronóstico que se haga debe tener en cuenta las circunstancias económicas, políticas y sociológicas de los tres países. Síntomas tales como la ansiedad vinculada al estrés mental pueden ser algunos de los principales legados del accidente.

En vista del bajo riesgo asociado a los niveles de radiación existentes en la mayoría de las zonas "contaminadas", las ventajas de los futuros esfuerzos por reducir aún más las dosis al público pesarían menos que los efectos negativos de índole económica, social y psicológica. Es importante elaborar una estrategia que tenga en cuenta tanto el riesgo radiológico real como las desventajas económicas, sociales y psicológicas con objeto de sacar el mayor beneficio neto en términos humanos. Además, deberían estudiarse medidas que mitiguen los efectos psicológicos.