



**Naciones Unidas**

**Comité Científico  
de las Naciones Unidas  
para el Estudio de los Efectos  
de las Radiaciones Atómicas**

**Informe sobre el 54º período de sesiones  
(29 de mayo a 2 de junio de 2006)**

**Asamblea General**

**Documentos Oficiales**

**Sexagésimo primer período de sesiones**

**Suplemento N° 46 (A/61/46)**



**Asamblea General**

Documentos Oficiales

Sexagésimo primer período de sesiones

Suplemento N° 46 (A/61/46)

**Comité Científico  
de las Naciones Unidas  
para el Estudio de los Efectos  
de las Radiaciones Atómicas**

**Informe sobre el 54° período de sesiones  
(29 de mayo a 2 de junio de 2006)**



Naciones Unidas • Nueva York, 2006

*Nota*

Las firmas de los documentos de las Naciones Unidas se componen de letras mayúsculas y cifras. La mención de una de tales firmas indica que se hace referencia a un documento de las Naciones Unidas.

ISSN 0255-139X

## Índice

	<i>Párrafos</i>	<i>Página</i>
I. Deliberaciones del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas en su 54º período de sesiones . . . . .	1-8	1
II. Informe Científico . . . . .	9-48	3
A. Estudios epidemiológicos sobre la radiación y el cáncer . . . . .	13-22	5
B. Evaluación epidemiológica de la enfermedad cardiovascular y otras enfermedades distintas del cáncer debidas a la exposición a las radiaciones . . . . .	23-28	9
C. Efectos indirectos y retardados de la exposición a la radiación ionizante . . . . .	29-33	10
D. Efectos de la radiación ionizante en el sistema inmunológico . . . . .	34-39	12
E. Evaluación de las fuentes de radón en relación con sus efectos del radón en los hogares y lugares de trabajo . . . . .	40-48	14

## Apéndices

I. Miembros de las delegaciones nacionales que asistieron a los períodos de sesiones 50º a 54º del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas . . . . .	18
II. Lista de personal científico y consultores que han colaborado con el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas en la preparación del informe correspondiente a 2006 . . . . .	20



## **I. Deliberaciones del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas en su 54º período de sesiones**

1. Desde la creación del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas por la Asamblea General en virtud de su resolución 913 (X), de 3 de diciembre de 1955, el mandato del Comité ha sido realizar exámenes amplios de las fuentes de radiación ionizante y sus efectos en la salud de los seres humanos y el medio ambiente. La exposición a la radiación proviene de diversas fuentes, entre ellas los ensayos de armas nucleares, la radiación natural de fondo, la generación de electricidad nuclear, accidentes como el de Chernobyl ocurrido en 1986, las ocupaciones que entrañan una gran exposición a fuentes antropogénicas o naturales y algunos procedimientos de revisión, diagnóstico y terapia médicos. El Comité<sup>1</sup> examina y evalúa a fondo el grado de exposición a escala mundial y regional a esas fuentes de radiación y a las dosis que resultan de ellas. Analiza los indicios que pueda haber de los efectos de la radiación en la salud a partir de estudios realizados con los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón y otros grupos expuestos. También examina los avances registrados en el conocimiento de los mecanismos que pueden dar lugar a esos efectos de la radiación. Esos estudios constituyen el fundamento científico utilizado, entre otros, por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) con objeto de elaborar sus recomendaciones sobre protección contra la radiación y por los organismos pertinentes del sistema de las Naciones Unidas a fin de formular normas básicas de seguridad internacionales para la protección contra las radiaciones ionizantes y para la seguridad de las fuentes de radiación.

2. El Comité celebró su 54º período de sesiones<sup>2</sup> en Viena del 29 de mayo al 2 de junio de 2006. Peter Burns (Australia), Norman Gentner (Canadá) y Christian Streffer (Alemania) actuaron en calidad de Presidente, Vicepresidente y Relator, respectivamente. El Comité examinó versiones adelantadas de documentos que había examinado en su 53º período de sesiones, celebrado del 26 al 30 de septiembre de 2005, y que había señalado a la atención de la Asamblea General en su informe sobre ese período de sesiones<sup>3</sup>. El Comité había previsto en principio que esos documentos se publicaran en 2005, pero la limitada disponibilidad de recursos retrasó su preparación. No obstante, se aprobaron cinco anexos científicos para su publicación en el informe del Comité correspondiente a 2006. El Comité también examinó los proyectos de otros documentos pendientes, en particular acerca de la exposición del público en general y de los trabajadores a diversas fuentes de radiación, la exposición por accidentes de radiación, la exposición por usos médicos de la radiación y los efectos de la radiación ionizante en la biota no humana.

3. El Comité tomó nota de que la Asamblea General, en su resolución 60/98, de 8 de diciembre de 2005, entre otras cosas reafirmó su decisión de que el Comité mantuviera sus actuales funciones y su independencia; aprobó sus propósitos y planes respecto de sus futuras actividades de examen y evaluación científicos en nombre de la Asamblea; subrayó la necesidad de que celebrara períodos ordinarios de sesiones todos los años; pidió al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) que le siguiera prestando apoyo para que pudiera realizar eficazmente sus tareas y dar a conocer sus conclusiones a la Asamblea, la

comunidad científica y el público; e instó al PNUMA a que examinara y reforzara su financiación actual.

4. El 14 de marzo de 2006 se había celebrado el 50º aniversario del primer período de sesiones del Comité. Como parte de la conmemoración el Gobierno del Japón y el Presidente del 53º período de sesiones del Comité, Yasuhito Sasaki, habían dispuesto que se publicaran todos los informes anteriores del Comité en su sitio web; también se modificó la estructura, el diseño y el contenido del sitio web. Además, durante el 54º período de sesiones del Comité, el Alcalde y Gobernador de Viena ofreció una recepción a los dignatarios, científicos y diplomáticos invitados en el ayuntamiento de Viena para conmemorar el aniversario. En esa ocasión, el Director General de la Oficina de las Naciones Unidas en Viena transmitió un mensaje del Secretario General; el orador invitado especial fue Hans Blix, e intervinieron también otros oradores del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el PNUMA. Los oradores, en especial Hans Blix, destacaron la importancia de la labor científica del Comité en los últimos 50 años y reconocieron sus logros y su reputación de independencia y credibilidad científicas. Hans Blix manifestó además que, habida cuenta de los importantes avances en la ciencia de las radiaciones y los problemas medioambientales más importantes, era necesario prestar mayor apoyo al Comité. El Director y Representante Regional de la Oficina Regional para Europa del PNUMA se comprometió a estudiar activamente posibles opciones para brindar mayor apoyo al Comité en el futuro. Consideró que una relación más visible entre las evaluaciones científicas del Comité y los intercambios de política dirigidos por el PNUMA facilitarían los esfuerzos conjuntos por fortalecer y ampliar la base de recursos del Comité.

5. El Comité había participado en la labor del Foro sobre Chernobyl (en el que participaban ocho organismos de las Naciones Unidas y los Gobiernos de Belarús, la Federación de Rusia y Ucrania), cuya importante misión abarcaba muchos aspectos del accidente de Chernobyl, entre ellos el examen de los efectos de las radiaciones en la salud. El Comité reiteró que los recientes resultados del Foro confirmaron sus propias conclusiones científicas fundamentales<sup>4</sup>, señaladas seis años antes, relativas a las consecuencias sanitarias y medioambientales de la exposición a las radiaciones debida al accidente de Chernobyl. Para la población general la principal consecuencia sanitaria que se había observado era el marcado aumento de la incidencia de cáncer del tiroides entre personas que habían absorbido dosis elevadas en 1986, cuando todavía eran niños. El Comité reconoció que con frecuencia era difícil para el público y los medios de difusión comprender que los riesgos de las radiaciones, si bien eran graves para algunos grupos expuestos, no eran tan importantes para la población en general desde el punto de vista de la salud radiológica como a menudo se decía que eran. Las noticias sin fundamento que daban por supuestas cifras previstas de fallecimientos por exposición a las radiaciones como resultado del accidente, especialmente antes y durante el vigésimo aniversario del accidente, en abril de 2006, habían creado confusión entre el público. A excepción de los primeros fallecimientos de algunos trabajadores de socorro que clínicamente eran atribuibles al síndrome agudo de irradiación, y de la pequeña proporción de casos mortales de cáncer del tiroides (que por razones epidemiológicas podrían atribuirse a la exposición a las radiaciones), no se podía atribuir ningún fallecimiento concreto a efectos tardíos de exposición a las radiaciones como resultado del accidente. El Comité expresó su intención de aclarar

aún más los resultados de la evaluación del daño potencial debido a exposiciones crónicas de bajo nivel en grandes grupos de población, así como las causas a las que debían atribuirse los efectos sobre la salud. Asimismo, reconoció que quedaban algunos detalles que era preciso seguir examinando, y que debía continuar su labor de establecer la base científica de un mejor conocimiento de los efectos de las radiaciones del accidente de Chernobyl sobre la salud y el medio ambiente. No obstante, gracias a su participación en el Foro sobre Chernobyl, el Comité ampliaría la labor de actualizar sus propias evaluaciones de las consecuencias sanitarias y medioambientales del accidente de Chernobyl para analizar la información divulgada más recientemente. Para que esa labor fuera eficaz, era necesario aumentar la participación de científicos de Belarús, la Federación de Rusia y Ucrania y disponer de más recursos.

6. La necesidad de restablecer un presupuesto de operaciones que permitiera al Comité cumplir el mandato que le había encomendado la Asamblea General, expuesto más recientemente en las resoluciones de la Asamblea 60/98; 59/114, de 10 de diciembre de 2004; 58/88, de 9 de diciembre de 2003; y 57/115, de 11 de diciembre de 2002, y en previsión de una creciente demanda de los conocimientos del Comité, se encontraba en estos momentos en un punto crítico. El Comité reiteró su preocupación por el hecho de que, al depender de un único funcionario del cuadro orgánico en la secretaría, el Comité era extremadamente vulnerable, lo cual en los últimos tiempos había restado eficiencia a la ejecución del programa de trabajo aprobado. El Comité consideró que debía reforzarse la financiación para el bienio 2008-2009, en cumplimiento de lo dispuesto en las resoluciones 60/98, 59/114, 58/88 y 57/115. Además, hasta el momento no se habían asignado recursos adicionales para el bienio 2006-2007 que permitieran la ejecución eficaz de los planes respaldados por la Asamblea General<sup>5</sup>.

7. El Comité reconoció la importancia que para su labor tenía la información proporcionada por los Estados Miembros y las organizaciones internacionales pertinentes. Exhorta a todos los Estados Miembros, los organismos especializados del sistema de las Naciones Unidas y demás órganos científicos nacionales e internacionales a que sigan suministrándole información pertinente y autorizada para sus exámenes, cuya calidad y exhaustividad tanto dependen de esa información.

8. El Comité decidió celebrar su 55º período de sesiones en Viena del 21 al 25 de mayo de 2007.

## **II. Informe Científico**

9. El Comité resumió las principales conclusiones de cinco anexos científicos para su inclusión en su informe correspondiente a 2006, titulados “Estudios epidemiológicos sobre la radiación y el cáncer”, “Evaluación epidemiológica de la enfermedad cardiovascular y otras enfermedades distintas del cáncer debidas a la exposición a las radiaciones”, “Efectos indirectos y retardados de la exposición a la radiación ionizante”, “Efectos de la radiación ionizante en el sistema inmunológico” y “Evaluación de las fuentes del radón en relación con sus efectos en los hogares y lugares de trabajo”. El informe correspondiente a 2006 y sus anexos deberían examinarse teniendo en cuenta el contexto proporcionado por informes sustantivos

anteriores<sup>6</sup> del Comité. La opinión general del Comité es que los datos examinados para su informe correspondiente a 2006 no obligan a introducir cambios en sus actuales estimaciones de riesgo relativas a los efectos carcinógenos y hereditarios de las radiaciones.

10. El presente informe y sus anexos científicos se han elaborado entre los períodos de sesiones 50° y 54° del Comité, sobre la base de documentos de trabajo preparados por la Secretaría. En esos períodos de sesiones actuaron en calidad de Presidente, Vicepresidente y Relator, respectivamente:

Períodos de sesiones 50° y 51°: J. Lipzstein (Brasil), Y. Sasaki (Japón) y R. Chatterjee (Canadá);

52° período de sesiones: Y. Sasaki (Japón), R. Chatterjee (Canadá) y P. Burns (Australia);

53° período de sesiones: Y. Sasaki (Japón), P. Burns (Australia) y N. Gentner (Canadá);

54° período de sesiones: P. Burns (Australia), N. Gentner (Canadá) y C. Streffer (Alemania).

Los nombres de los miembros de las delegaciones nacionales que asistieron a los períodos de sesiones 50° a 54° del Comité aparecen en el Apéndice I *infra*. El Comité desea reconocer la asistencia y el asesoramiento recibidos de un pequeño grupo de consultores (véase el Apéndice II *infra*) que ayudaron a preparar el material, y las contribuciones de especie de expertos nacionales y funcionarios de organizaciones internacionales. Ellos tuvieron a su cargo los exámenes y las evaluaciones preliminares de la información técnica recibida por el Comité u obtenida a partir de la bibliografía de libre acceso, en que se han basado las deliberaciones finales del Comité.

11. Asistieron a los períodos de sesiones del Comité abarcados en el presente informe representantes de los siguientes organismos especializados y otras organizaciones de las Naciones Unidas: OMS, OIEA y PNUMA; y representantes de las siguientes organizaciones internacionales: CIPR y la Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas. El Comité desea reconocer sus aportaciones a los debates.

12. Con arreglo a la práctica establecida, el presente informe anual del Comité a la Asamblea General no incluye los anexos científicos. El informe completo del Comité Científico correspondiente a 2006, incluidos los anexos científicos, aparecerá como publicación de las Naciones Unidas destinada a la venta. Con esta práctica se pretende lograr una distribución más amplia de los resultados, en beneficio de la comunidad científica internacional. El Comité desea señalar a la atención de la Asamblea que en el presente documento el texto principal del informe del Comité correspondiente a 2006 se presenta separado de sus anexos científicos únicamente por motivos prácticos. Debe entenderse que la información científica contenida en los anexos es importante, pues es la base de las conclusiones a que se llega en el informe.

## A. Estudios epidemiológicos sobre la radiación y el cáncer

13. El Comité siempre se ha basado mucho en los resultados de investigaciones epidemiológicas para estimar los riesgos de cáncer inducido por las radiaciones. El Comité ha prestado mucha atención a los criterios que definen los estudios epidemiológicos de calidad y a las diversas características de esos estudios que deben tenerse en cuenta para que el Comité mejore sus estimaciones. En el informe del Comité Científico correspondiente a 2000 se resumieron el concepto de potencia estadística (la probabilidad de que un estudio epidemiológico detecte un nivel determinado de riesgo elevado con un grado de confianza específico) y diversos factores que lo afectan. Esta cuestión se trata con más detalle en el anexo A del informe correspondiente a 2006, titulado “Estudios epidemiológicos sobre la radiación y el cáncer”, en el que se indica que la potencia estadística de un estudio depende enormemente del tamaño de la muestra, del nivel o los niveles de dosis del grupo expuesto y de la magnitud del coeficiente de riesgo, de manera que la potencia estadística de la mayoría de los estudios de dosis bajas que se incluyen en la bibliografía no es la adecuada. Además, en los estudios de dosis bajas con cifras de efectos que se prevén pequeñas y que no tienen ninguna potencia estadística, es probable que el valor del riesgo relativo hallado respecto de cualquier resultado supuestamente “significativo desde el punto de vista estadístico” sea un cálculo considerablemente excesivo del riesgo “verdadero”.

14. Se estudiaron numerosas fuentes de incertidumbre en estudios epidemiológicos, así como métodos para abordarlas. Una nueva generación de estudios epidemiológicos ha empezado a proporcionar estimaciones de los riesgos de irradiación libres de incertidumbres en la evaluación de las dosis, y se están empezando a corregir incertidumbres de otro tipo. Una cuestión importante a la hora de interpretar estudios que hacen comparaciones múltiples (por ejemplo, de numerosos tipos de cáncer) es que la probabilidad de obtener un resultado estadísticamente significativo sólo por azar aumenta con el número de comparaciones.

15. Las estimaciones del riesgo de contraer cáncer reflejadas en el informe del Comité correspondiente a 2000 se basaron en datos relativos a los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón y en ellas se utilizó el conjunto de estimaciones de las dosis recibidas por los sobrevivientes elaborado a mediados del decenio de 1980, la llamada dosimetría DS86. Durante un tiempo se pensó que las estimaciones de la dosis de neutrones DS86 en los sobrevivientes de la bomba atómica de Hiroshima se estaban calculando por lo bajo de manera sistemática, mientras que se consideraba que las estimaciones de la dosis de radiación gamma DS86 eran más fiables. Un análisis reciente de los datos existentes indica que no existen errores sistemáticos apreciables en las estimaciones de la dosis de neutrones DS86 de Hiroshima. El conjunto más actualizado de estimaciones de dosis, la dosimetría DS02, sólo difiere ligeramente del sistema DS86, por lo general en cantidades no mayores del 20%. Los análisis que se emplean en la nueva dosimetría indican que, como consecuencia, las estimaciones de los factores de riesgo de contraer cáncer pueden descender en un 8% aproximadamente, pero no se observa ningún cambio apreciable en la forma de la respuesta a la dosis ni en las pautas de riesgo excesivo según la edad o el tiempo.

16. Si bien la eliminación de la falta de coherencia dosimétrica en los datos relativos a los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón ha reducido una fuente de incertidumbre en la estimación de riesgos de contraer cáncer de una población a consecuencia de bajas dosis de radiación, sigue habiendo un número considerable de otras fuentes de incertidumbre. Una de las más importantes es la relativa a la extrapolación de las exposiciones a dosis moderadas pero con altas tasas de dosis recibidas por los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón a dosis y tasas de dosis bajas. Esto también se aplica a la interpretación de datos de muchos grupos expuestos a radiaciones debidas a terapias médicas. También existe incertidumbre en la extrapolación del riesgo de contraer cáncer a lo largo de la vida. En particular, aproximadamente la mitad de la cohorte de sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón sigue viva. Al estimar los factores de riesgo a partir de los datos de esa cohorte, es indispensable determinar la pauta de variación del riesgo de contraer cáncer asociado con la radiación de los que quedaron expuestos a ésta durante su infancia que ahora están arribando a una edad en que cabría esperar la aparición espontánea de una cantidad de cánceres. Otra fuente de incertidumbre es la relativa a la transferencia del riesgo de contraer cáncer inducido por las radiaciones en poblaciones con diferentes tasas de cáncer espontáneo.

17. En el anexo A del informe del Comité correspondiente a 2006 se evalúa de nuevo el riesgo de incidencia del cáncer y la mortalidad causada por éste a partir de los datos relativos a los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón, y siempre que ha sido posible se ha utilizado para ello la última dosimetría DS02 y sus mediciones complementarias. También se revisan de manera exhaustiva todas las pruebas aportadas por estudios de grupos de personas expuestas a las radiaciones por motivos terapéuticos, laborales o de diagnóstico. En el anexo A se estudian los riesgos de contraer cáncer de glándula salival, esófago, estómago, intestino delgado (incluido el duodeno), colon, recto, hígado, páncreas, pulmón, hueso y tejido conectivo, mama, útero, ovario, próstata, vejiga, riñón, cerebro y sistema nervioso central y tiroides. Asimismo, se estudian los riesgos de contraer linfoma no Hodgkin, enfermedad de Hodgkin, mieloma múltiple, leucemia, melanoma cutáneo y cáncer de piel no melanoma. Con esto se amplía de algún modo la lista de órganos en comparación con la estudiada en el informe del Comité correspondiente a 2000 (en el que no se examinaron el cáncer de glándula salival, intestino delgado, recto, páncreas, útero, ovario y riñón, ni el melanoma cutáneo). Al igual que en el informe del Comité correspondiente a 2000, en el anexo A se evalúan por separado los riesgos de la exposición interna y externa a las radiaciones y de las llamadas radiaciones con baja y alta transferencia energética lineal.

18. Todavía hay problemas para caracterizar los riesgos de algunos tipos de cáncer a causa de la baja precisión estadística asociada a las cifras relativamente bajas de casos excesivos. Esto puede limitar, por ejemplo, la capacidad de cálculo de las tendencias del riesgo en relación con factores como el sexo, la edad en el momento de la exposición y el tiempo transcurrido desde la exposición. Además, en ocasiones no hay datos o no se han publicado en un formato lo suficientemente detallado como para permitir una evaluación de cómo los riesgos varían según las poblaciones. El cáncer de mama es una excepción: al comparar los datos de las sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón con los de mujeres expuestas a las radiaciones por razones médicas en América del Norte se observa el llamado modelo “absoluto” para la transferencia de estimaciones de riesgo entre

poblaciones. Hay algunos tipos de cáncer que no se ha demostrado que estén asociados a la radiación y otros en que sólo se han observado riesgos excesivos como consecuencia de exposiciones a dosis muy altas (radioterapéuticas). Si bien las evaluaciones del riesgo de contraer linfomas se ven afectadas en varios estudios por el escaso número de casos, estos resultados deberían compararse con la clara relación hallada en muchas poblaciones entre la radiación y el riesgo de leucemia, que también es una enfermedad poco frecuente.

19. La mayor precisión estadística asociada con el seguimiento más prolongado de los estudios arriba mencionados y el consiguiente número mayor de casos de cáncer observados ha contribuido al examen de las relaciones dosis-respuesta, en especial en los casos de niveles bajos de dosis. Por ejemplo, los datos más recientes relativos a los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón concuerdan en gran medida con tendencias de riesgo-dosis lineales o lineales-cuadráticas en muy diversos niveles de dosis. Sin embargo, los análisis que se ciñen únicamente a dosis bajas se ven complicados por las limitaciones de la precisión estadística, la posibilidad de obtener resultados engañosos como consecuencia de pequeños márgenes de error que pasan inadvertidos y el problema de observar resultados estadísticamente significativos por simple casualidad al realizar pruebas múltiples para determinar una dosis mínima a partir de la cual puedan detectarse riesgos elevados. Un seguimiento más prolongado de grupos grandes como el de los sobrevivientes de las bombas atómicas proporcionará más información sobre los efectos de las dosis bajas. No obstante, la epidemiología por sí misma no permitirá resolver la cuestión de si hay umbrales de dosis para los riesgos radiológicos. Hace falta comprender mejor los mecanismos biológicos. En particular, la incapacidad de detectar aumentos del riesgo en los casos de dosis muy bajas empleando métodos epidemiológicos no significa que los riesgos de contraer cáncer no sean elevados.

20. También se han publicado nuevos resultados de análisis de exposiciones fraccionadas o crónicas en dosis bajas a radiaciones con baja transferencia energética lineal. Entre esos análisis figuran un estudio de trabajadores nucleares de 15 países, estudios de residentes en las proximidades del río Techa (Federación de Rusia) que estuvieron expuestos a descargas radioactivas de la planta de Mayak, un estudio de personas expuestas a la precipitación radioactiva del polígono nuclear de Semipalatinsk (Kazajstán) y estudios en regiones con niveles altos de radiación natural de fondo. Salvo en algunos de esos estudios, en que los riesgos de padecer cáncer son un poco más altos, en términos generales esos riesgos son estadísticamente compatibles con los derivados de los datos relativos a los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón. No obstante, existe preocupación por el margen de error de todos esos estudios, que puede explicar por qué las estimaciones del riesgo de contraer cáncer son elevadas en comparación con las derivadas de los datos relativos al Japón.

21. Los resultados presentados en el anexo A del informe del Comité correspondiente a 2006 demuestran que las estimaciones del riesgo durante la vida de contraer cáncer como consecuencia de la exposición a las radiaciones son muy sensibles a las variaciones en las tasas de fondo de cánceres espontáneos. Estos resultados indican que esta variabilidad puede causar diferencias comparables con las asociadas a diferentes métodos de transferencia de estimaciones de riesgos entre poblaciones o métodos de proyección de riesgos. La variabilidad en todas esas proyecciones subraya la dificultad de elegir un valor único que represente el riesgo

durante la vida de contraer cáncer inducido por las radiaciones. Además, las incertidumbres en las estimaciones de los riesgos de contraer determinados tipos de cáncer suelen ser mayores que las presentes en las estimaciones de los riesgos de todos los cánceres en su conjunto.

22. A pesar de esas dificultades, las estimaciones de riesgos tienen un valor considerable en la caracterización del impacto de la exposición de una población a las radiaciones. En el informe del Comité correspondiente a 2000 se hizo hincapié, a efectos de la proyección del riesgo, en modelos que simulaban el riesgo relativo debido a las radiaciones según la edad en la que se produjo la exposición o la edad alcanzada. Con estudios de seguimiento a más largo plazo ha quedado claro que esos modelos no son apropiados. En el informe del Comité correspondiente a 2006 se indica que actualmente se obtienen resultados óptimos si los modelos de riesgo de mortalidad por cáncer sólido proporcionalmente simulan el riesgo excesivo relativo o absoluto debido a la exposición a las radiaciones a un producto de funciones que incluya potencias del tiempo transcurrido desde la exposición y la edad alcanzada. Los modelos de mortalidad por leucemia preferidos hoy día suponen que el riesgo excesivo relativo es proporcional a un producto de potencias de la edad en que se produjo la exposición y la edad alcanzada, y que el riesgo excesivo absoluto es proporcional a una potencia del tiempo transcurrido desde la exposición. Cuando se aplican esos modelos a una de cinco poblaciones específicas (China, Japón, Puerto Rico, Estados Unidos de América y Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte) de todas las edades, se calcula que el riesgo durante la vida de fallecer a causa de todos los cánceres sólidos en su conjunto como consecuencia de una dosis aguda de 1 sievert (Sv) oscila de entre el 4 y el 7,5% aproximadamente, y en el caso de la leucemia, entre el 0,7 y el 1%. Los cálculos incluidos en el anexo A del informe correspondiente a 2006 indican que esos valores varían entre poblaciones diferentes y con modelos de riesgo diferentes, y que la variación es más importante en el caso de los cánceres sólidos. Esas estimaciones del riesgo de contraer cáncer son algo más bajas, aunque no mucho, que las publicadas anteriormente en el informe del Comité correspondiente a 2000. La disminución puede deberse en parte a la nueva dosimetría de los sobrevivientes de la bomba atómica y las mediciones complementarias, aunque es probable que se deba en mayor medida a los modelos diferentes de proyección y transporte del riesgo utilizados, en particular en lo que se refiere a los cánceres sólidos. Las estimaciones del riesgo durante la vida de contraer cáncer en las personas expuestas a radiaciones durante la infancia pueden tener un factor dos o tres veces mayor que las estimaciones relativas a una población expuesta a cualquier edad. No obstante, el seguimiento continuo de las cohortes irradiadas existentes será importante para determinar los riesgos durante la vida. Los resultados del análisis de los datos sobre los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón concuerdan con una relación dosis-respuesta lineal de los riesgos de todos los cánceres sólidos en su conjunto y con una relación dosis-respuesta lineal-cuadrática del riesgo de contraer leucemia.

## **B. Evaluación epidemiológica de la enfermedad cardiovascular y otras enfermedades distintas del cáncer debidas a la exposición a las radiaciones**

23. En el anexo B del informe del Comité correspondiente a 2006, titulado “Evaluación epidemiológica de la enfermedad cardiovascular y otras enfermedades distintas del cáncer debidas a la exposición a las radiaciones”, se examinan las investigaciones epidemiológicas en que se han estudiado enfermedades distintas del cáncer. En 1992 se informó por primera vez de un vínculo estadísticamente significativo entre la dosis de radiación y la mortalidad por enfermedades distintas del cáncer en el análisis que se hizo de los datos tomados entre 1950 y 1985 en el marco de un estudio evolutivo de la vida de los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón. Se observaron vínculos significativos en los casos de enfermedad cardiovascular y otras enfermedades distintas del cáncer. El exceso de mortalidad a causa de esas enfermedades no podía explicarse como un efecto del hábito de fumar o de otros posibles factores, con lo que tuvo que considerarse la posibilidad de que la radiación fuera la causa directa de esos efectos. El anexo B se centra principalmente en los resultados de éste y otros estudios sobre enfermedades cardiovasculares.

24. Los efectos de la exposición a las radiaciones en afecciones distintas del cáncer se estudiaron por última vez en los informes del Comité correspondientes a 1982 y 1993. En dichos informes se indicó que existía una dosis mínima, una dosis umbral, por debajo de la cual no se detectaba clínicamente efecto alguno de las radiaciones. Si bien el valor de la dosis umbral es difícil de definir y puede variar según el tejido y las técnicas de medición, los datos sobre los sobrevivientes de las bombas atómicas indican que puede haber una relación entre la exposición a las radiaciones y la incidencia de enfermedades distintas del cáncer a niveles de dosis por debajo de los que hasta ahora se habían considerado umbrales de varios de los llamados efectos deterministas.

25. En el anexo B del informe del Comité correspondiente a 2006 se examinan datos epidemiológicos actuales y se trata de caracterizar la naturaleza del riesgo de contraer enfermedades distintas del cáncer asociado a la exposición a las radiaciones. Se analizan diversas cuestiones metodológicas que son especialmente pertinentes a la hora de evaluar datos epidemiológicos correspondientes a enfermedades distintas del cáncer. También se expone una visión general de los datos de que se dispone actualmente respecto de las enfermedades distintas del cáncer más importantes en unas 50 poblaciones irradiadas. Se han estudiado en detalle datos epidemiológicos de la enfermedad cardiovascular, una de las más comunes y sobre la que hoy día existe una cantidad relativamente mayor de información en cuanto a su posible relación de causalidad con la exposición a las radiaciones. En el anexo B se reconocen las importantes lagunas que existen en el conocimiento de la naturaleza de ese riesgo y se analiza su posible efecto en las futuras evaluaciones del riesgo de radiación.

26. Existe un mayor riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares asociado a la exposición del corazón a dosis de radiación altas, lo cual puede ocurrir en el curso de una radioterapia, aunque las nuevas técnicas de tratamiento, que emiten dosis más bajas, han reducido el riesgo considerablemente. Hasta la fecha, los análisis de los datos sobre los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el

Japón son los únicos que han arrojado resultados que indican la existencia de nexos entre la enfermedad cardiovascular mortal y la exposición a dosis de radiación de menos de 1 ó 2 gray (Gy). Otros estudios ofrecen pruebas poco claras o coherentes de que haya un riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares por la exposición a dosis de radiación de menos de 1 ó 2 Gy aproximadamente. El Comité considera que, en conjunto, los datos no son suficientes para determinar modelos de riesgo adecuados para estos puntos finales de evaluación. Tampoco los datos científicos bastan en estos momentos para concluir que hay una relación causal entre la exposición a la radiación ionizante y la incidencia de la enfermedad cardiovascular a dosis de menos de 1 ó 2 Gy aproximadamente.

27. A causa de la alta incidencia de la enfermedad cardiovascular en poblaciones no expuestas, sus numerosos factores y su heterogeneidad, además de la necesidad de tener en cuenta importantes factores de confusión (como el consumo de tabaco, la genética y el nivel de colesterol), queda poco claro si los estudios epidemiológicos por sí solos podrán hacer una aportación significativa a la comprensión del potencial y la naturaleza de cualquier posible relación causal entre la incidencia de la enfermedad cardiovascular y la exposición a las radiaciones.

28. En cuanto al grupo de enfermedades distintas de la enfermedad cardiovascular y del cáncer, las pruebas de que existe una relación entre la mortalidad debida a esas enfermedades y la exposición a las radiaciones a dosis de menos de 1 ó 2 Gy aproximadamente provienen, también en este caso, sólo del análisis de los datos relativos a los sobrevivientes de las bombas atómicas. Las pruebas científicas aportadas por otros estudios para inferir una relación causal con la exposición a radiaciones a dosis de menos de 1 ó 2 Gy aproximadamente son más insuficientes todavía que en el caso de la enfermedad cardiovascular en esas poblaciones. Ello se debe en parte a lo limitado de los datos, a la gran heterogeneidad de las enfermedades y a los diversos mecanismos y etiologías patológicas, así como a múltiples factores de confusión.

### **C. Efectos indirectos y retardados de la exposición a la radiación ionizante**

29. Gracias a los exhaustivos estudios epidemiológicos sobre los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón y de otros grupos de población se conocen relativamente bien los riesgos de contraer cáncer debidos a la exposición a dosis altas y moderadas de radiación. Sin embargo, los riesgos vinculados a dosis bajas y más propias de la exposición a radiaciones de fuentes ambientales y ocupacionales suelen extrapolarse de los datos relativos a dosis altas incorporando factores que explican las dosis bajas y las tasas de dosis bajas. La estimación de los riesgos para la salud humana vinculados a la exposición a las radiaciones se basa de manera mecanicista en el criterio de que los efectos perjudiciales de la radiación se originan en las células irradiadas o, en el caso de efectos heredables, en células que descienden directamente de las irradiadas. No obstante, se han reseñado varios de los llamados efectos indirectos y retardados de la exposición a las radiaciones que podrían poner en tela de juicio ese concepto. En el Anexo C del informe de la Comisión correspondiente a 2006, titulado “Efectos indirectos y retardados de la exposición a la radiación ionizante” se examinan las manifestaciones de esos efectos

y se analiza la manera en que podrían influir en los juicios mecanicistas necesarios para la estimación del riesgo a dosis bajas y tasas de dosis bajas.

30. Entre los efectos que se examinan figuran la inestabilidad genómica radioinducida, los efectos circunstantes, los efectos abscopales, los factores clastogénicos inducidos y los factores hereditarios, como se explica a continuación:

a) Si una célula única se expone a radiación y sobrevive, puede producir células hija cuyos genomas presentan, de una generación a otra, números crecientes de alteraciones, aun cuando las propias células hija no se expusieron a radiación. Este efecto se denomina “inestabilidad genómica radioinducida”. Las alteraciones de los genomas de las células hija pueden comprender alteraciones en los cromosomas, cambios en el número de cromosomas, mutaciones de genes y otras secuencias de ácido desoxirribonucleico (ADN) y una reducción del número de células posteriores generadas mediante la replicación de células hija;

b) El llamado efecto “circunstante” es la capacidad que tienen las células expuestas a radiación de transmitir manifestaciones de daño a células vecinas que no estuvieron expuestas directamente a la radiación;

c) Se dice que se produce el efecto abscopal si hay una respuesta significativa en un tejido separado físicamente de la región del cuerpo expuesta a radiación;

d) Hay un vasto conjunto de indicios de que el plasma sanguíneo de animales y seres humanos expuestos a radiación puede contener los llamados “factores clastogénicos”, capaces de inducir daños cromosómicos en células no expuestas a radiación;

e) Los efectos heredables son los que se observan en la progenie nacida después de que uno o ambos padres han quedado expuestos a las radiaciones antes de la concepción. Los efectos transgeneracionales son los que se manifiestan también en generaciones posteriores a la primera;

f) Por último, algunas de las manifestaciones de los efectos indirectos y retardados mencionados *supra* pueden surgir espontáneamente y tras la exposición a otros agentes.

31. Pese al vasto conjunto de información nueva, sigue habiendo un gran debate en torno a la relación de causalidad entre los efectos indirectos y los efectos sanitarios observados que cabe atribuir a las radiaciones. El Comité llega a la conclusión de que actualmente los datos de que se dispone proporcionan cierta base para concluir que existe una relación con la enfermedad, pero no de causalidad. Al llegar a esta conclusión, el Comité subraya que la estimación de los efectos sanitarios de las radiaciones se basa en observaciones epidemiológicas y experimentales de un aumento de la incidencia de la enfermedad estadísticamente significativo relacionado con las dosis de radiación. Estas observaciones directas de las consecuencias nocivas para la salud tienen en cuenta de manera implícita elementos mecanicistas que guardan relación no sólo con los efectos dirigidos hacia un objetivo específico (directos) de las radiaciones, sino también con los efectos indirectos y retardados que se explican en el anexo C del informe correspondiente a 2006.

32. El Comité sigue sosteniendo que la información mecanicista reviste importancia para las opiniones que emite sobre los efectos sanitarios de las radiaciones en casos de dosis inferiores a 0, 2 Gy aproximadamente. No obstante, para atribuir a un mecanismo la aparición de un efecto biológico particular relacionado con la salud, es necesario reproducir los datos en cuestión de manera independiente y que éstos tengan un alto grado de coherencia con la enfermedad particular que se examine. A este respecto, se considera que los datos sobre la distribución de la energía microdosimétrica en el núcleo de la célula y el posterior procesamiento celular del daño ocasionado directamente al ADN, que se examinan en el informe del Comité correspondiente al año 2000, sirven de base idónea para las opiniones emitidas sobre los mecanismos que afectan la estimación del riesgo. No obstante, el Comité reconoce que diversos procesos mecanicistas contribuirán al desarrollo de efectos de las radiaciones en la salud.

33. El Comité seguirá vigilando los adelantos científicos que se realicen en cuanto a los efectos indirectos y retardados de la exposición a las radiaciones y recomienda en general que en las investigaciones que se realicen en el futuro se concedan especial atención a la realización de estudios que hagan hincapié en la posibilidad de reproducción, las respuestas a dosis bajas y las relaciones de causalidad con los efectos sanitarios. En última instancia, los conocimientos sobre la diversidad y la naturaleza de las respuestas de células y tejidos a las radiaciones permitirán comprender los mecanismos por los que la exposición a las radiaciones produce efectos nocivos en la salud, con ello consolidar las bases científicas de la estimación cuantitativa del riesgo de efectos sanitarios de la radiación a dosis bajas y tasas de dosis bajas.

#### **D. Efectos de la radiación ionizante en el sistema inmunológico**

34. Los efectos de la radiación ionizante en el sistema inmunológico se examinaron por primera vez con exhaustividad en el informe del Comité correspondiente a 1972 y se reseñaron brevemente en los informes correspondientes a 1977, 1982, 1986, 1988, 1994 y 2000. Los conceptos en la esfera de la inmunología han evolucionado y se han modificado considerablemente en los tres últimos decenios. De ahí que el Comité consideró necesario que se realizara un examen completamente nuevo de los efectos de la radiación ionizante en el sistema inmunológico. Por lo tanto, en el anexo D del informe correspondiente a 2006, titulado “Efectos de la radiación ionizante en el sistema inmunológico”, se examinan datos relacionados con las alteraciones provocadas por la radiación en las respuestas inmunológicas, se estudian los posibles mecanismos conexos y se examinan los estudios epidemiológicos sobre los efectos de la radiación ionizante en el sistema inmunológico humano.

35. El sistema inmunológico, uno de los más complejos del cuerpo humano, se compone de células de varios tipos (linfocitos y células auxiliares) distribuidas de manera estratégica en todo el cuerpo, apostadas perfectamente para reconocer antígenos (sustancias y células ajenas o xenobióticas) y neutralizarlos o destruirlos; ello protege contra las infecciones y el cáncer. Hay dos formas distintas de inmunidad que están, sin embargo, interrelacionadas, a saber, la inmunidad innata y la adquirida. La inmunidad innata funciona plenamente antes de que cualquier agente externo ingrese en el cuerpo y proporciona, por consiguiente, una defensa

rápida. La inmunidad adquirida se activa una vez que el agente patógeno ha ingresado en el cuerpo y conserva una memoria de exposiciones anteriores, lo que le permite responder con mayor fuerza cuando se produce la exposición ulterior al mismo antígeno. Las respuestas inmunológicas adquiridas corresponden en gran parte a los linfocitos B (respuestas humorales) y a los linfocitos T (respuestas celulares).

36. Los efectos de la radiación ionizante en el sistema inmunológico pueden evaluarse calculando los cambios operados en el número de células o realizando diversas pruebas funcionales. La repercusión de esas alteraciones en la respuesta inmunológica depende de factores como la dosis de radiación, su relación temporal con la inmunización y la predisposición genética. Por consiguiente:

a) Las dosis altas de radiación producen la supresión del sistema inmunológico, causada principalmente por la destrucción de células. Los linfocitos son muy sensibles a las radiaciones y su reducción se emplea en la actualidad como indicador temprano del nivel de una exposición accidental aguda. Al parecer, los cambios que la radiación provoca en los parámetros inmunológicos dependen más de la dosis total que de la tasa de la dosis. Se han observado efectos persistentes en el sistema inmunológico tras la exposición a la radiación ionizante;

b) En casos de dosis bajas y de tasas bajas de dosis, los efectos de la radiación ionizante en el sistema inmunológico pueden ser supresores o estimulantes. Es necesario evaluar las repercusiones a largo plazo de las dosis bajas de radiación en las funciones del sistema inmunológico en relación con la salud humana.

37. En el anexo D del informe correspondiente a 2006 se analizan algunos posibles mecanismos por los que la radiación puede provocar alteraciones en el sistema inmunológico y su función en la progresión y el control del cáncer. El sistema inmunológico es capaz de eliminar las células aberrantes que pueden formar tumores. No está claro si el cáncer se debe a una deficiencia del sistema inmunológico. La disfunción inmunológica, sin embargo, se ha relacionado con varios tipos de tumor humano. Tal vez la comprensión de las interacciones de la radiación ionizante y el sistema inmunológico abra nuevas posibilidades para la prevención y el tratamiento del cáncer.

38. En el anexo D del informe correspondiente a 2006 se reseñan estudios sobre los efectos de la radiación ionizante en el sistema inmunológico humano de sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón, trabajadores y residentes de Chernobyl, residentes de la zona del río Techa, la población de las inmediaciones del emplazamiento nuclear de Hanford y pacientes sometidos a radioterapia. La comparación de los datos arroja algunas conclusiones comunes: disminución de la inmunidad celular, aumento de la inmunidad humoral y un cambio hacia un perfil inflamatorio. Los sobrevivientes de las bombas atómicas muestran trastornos en la estabilidad del sistema inmunológico, de los cuales no hubo indicios en los trabajadores y residentes expuestos a la radiación provocada por el accidente de Chernobyl.

39. Si bien los efectos de la supresión de altas dosis de radiación ionizante están bien documentados, en el anexo D del informe correspondiente a 2006 se llega a la conclusión de que existe incertidumbre en torno a los efectos de las dosis bajas de

radiación en el sistema inmunológico, ya que se han notificado efectos estimulantes y supresores.

### **E. Evaluación de las fuentes de radón en relación con sus efectos del radón en los hogares y lugares de trabajo**

40. En la vida diaria, todas las personas están expuestas al radón, gas radiactivo natural químicamente inerte que se encuentra en cualquier parte de la atmósfera. Los niveles de radón en interiores varían notablemente de un país a otro y dentro de éstos, y las concentraciones medias geométricas (nominales) de ese gas en el aire de espacios cerrados oscila entre menos de 10 becquerels por metro cúbico ( $\text{Bq m}^{-3}$ ) en el Oriente Medio y más de 100  $\text{Bq m}^{-3}$  en varios países europeos.

41. La dosis per capita anual por inhalación de radón (y de sus productos de desintegración) representa típicamente cerca de la mitad de la dosis efectiva recibida por el público de todas las fuentes naturales de radiación ionizante. En el caso de algunas ocupaciones, el gas radón es la fuente predominante de exposición a la radiación en el trabajo. En el ciclo del combustible nuclear, el radón liberado por los residuos que deja la extracción de uranio contribuye de manera sustancial a la dosis efectiva generada por esta práctica.

42. Está comprobado que el radón y sus productos de desintegración provocan el cáncer de pulmón. Sin embargo, las dosis recibidas por otros órganos y tejidos como resultado de la inhalación de radón y sus productos de desintegración son bastante reducidas, y suelen ser por lo menos de un orden de magnitud inferior a las dosis recibidas por el pulmón. Además, los datos epidemiológicos aportan escasos indicios de un mayor riesgo de mortalidad distinto del debido al cáncer de pulmón.

43. En el anexo E del informe correspondiente a 2006, titulado “Evaluación de las fuentes de radón en relación con sus efectos en los hogares y lugares de trabajo”, se analizan las posibles fuentes de exposición al radón para trabajadores y el público en general; cuestiones de interés actual relativas a la dosimetría del radón; información sobre experimentos con animales y experimentos a nivel celular y subcelular, los cuales son importantes para comprender los mecanismos de la carcinogénesis; estudios epidemiológicos de mineros sobre su exposición al radón y la exposición al radón en los hogares; y enfoques de la proyección de riesgos.

44. En la gestión general de riesgos, es necesario establecer un factor que permita calcular la dosis de determinada exposición al radón con fines de control y para establecer comparaciones con otras fuentes de exposición a las radiaciones. Hay dos formas de obtener el llamado factor dosimétrico. Según el “enfoque dosimétrico”, la dosis de una exposición dada se determina a partir de características atmosféricas y de respiración relacionadas con el radón y sus productos de desintegración. La CIPR ha utilizado un “enfoque epidemiológico” para determinar el factor a partir de estudios epidemiológicos que utilizan el índice de riesgo de cáncer de pulmón que presentan los mineros respecto del riesgo general de cáncer de los sobrevivientes de las bombas atómicas. En el informe del Comité correspondiente al año 2000, había al parecer una diferencia de un factor de aproximadamente dos entre los resultados de ambos enfoques. Sin embargo, los datos más recientes publicados sobre los riesgos a que están expuestos los trabajadores de minas subterráneas (obtenidos a partir de estudios actualizados de cohortes de mineros del uranio) indican que los resultados de los dos enfoques difieren menos de lo que se creyó en un comienzo.

No obstante, es necesario seguir investigando para comprender mejor y tener en cuenta la influencia de factores modificadores, como el tiempo transcurrido desde la exposición, la edad alcanzada y la influencia de la tasa de dosis – así como de factores de confusión (especialmente el tabaquismo).

45. Los estudios sobre mineros expuestos al radón y a sus productos de desintegración ofrecen una base directa para evaluar su riesgo de contraer cáncer de pulmón. En su sexto informe de la serie titulada *Health Effects of Exposure to Radon (BEIR IV)*, el Comité sobre los riesgos sanitarios de la exposición al radón del Consejo Nacional de Investigaciones de los Estados Unidos informó de un exceso de riesgo relativo por exposición al radón equivalente<sup>7</sup> al 1,8% por horas megabecquerel por metro cúbico (MBq h m<sup>-3</sup>) (95% de intervalo de confianza: 0,3, 35) para mineros con exposiciones acumulativas inferiores a 30 MBq h m<sup>-3</sup>. Hay diversas fuentes de error en la evaluación de las exposiciones a que vienen estando sujetos los mineros, especialmente durante los primeros años de la extracción del uranio, que fue cuando se produjo la mayor exposición. Existen otros factores que complican el análisis de los datos sobre los mineros, a saber, el alto porcentaje de mineros que fuman, la exposición en el lugar de trabajo a contaminantes en polvo como el arsénico, gases de escape de motores diesel suspendidos en el polvo y otros contaminantes y los períodos de trabajo en minas de otros minerales. Es probable que la capacidad para detectar algún exceso de riesgo en los mineros en la actualidad sea reducida, en parte porque la exposición es mucho menor que en los primeros tiempos de la extracción del uranio y en parte gracias al perfeccionamiento de los métodos de vigilancia y registro. Debido a los altos niveles de exposición durante la etapa inicial de la extracción del uranio, es posible determinar las tendencias del riesgo de cáncer de pulmón e investigar los factores que afectan la relación dosis-respuesta, como la edad en el momento de la exposición, el efecto de la tasa de dosis y la reducción del riesgo a medida que transcurre más tiempo desde que se produjo la exposición, así como el efecto de factores de confusión, como el hábito de fumar.

46. El modelo BEIR VI concebido a partir del análisis combinado de 11 cohortes de trabajadores de minas subterráneas constituye una sólida base para calcular los riesgos de la exposición al radón y explica factores como la reducción del riesgo con el aumento del tiempo transcurrido desde la exposición. Desde la aparición del informe BEIR VI, se han actualizado los estudios sobre diversas cohortes de mineros que confirman las tendencias generales de riesgo según la dosis y el tiempo transcurrido desde la exposición comunicadas en ese informe e incluyen coeficientes actualizados que permiten tener en cuenta el tiempo transcurrido desde la exposición. Por consiguiente, los estudios sobre los mineros establecen una base sólida para evaluar los riesgos de la exposición al radón e investigar los efectos de los modificadores de la relación dosis-respuesta. Se utilizan modelos biológicos y celulares del proceso en múltiples etapas de la carcinogénesis para analizar los datos de los estudios sobre los mineros. Esos modelos ofrecen la posibilidad de evaluar las incertidumbres existentes en nuestro conocimiento de los mecanismos de formación del cáncer y de elaborar modelos de esos mecanismos para calcular los riesgos.

47. La extrapolación de las concentraciones de radón presentes en el aire de las minas a las de los hogares ofrece una base indirecta para evaluar los riesgos de la exposición al radón en los segundos. Sin embargo, se han realizado hasta ahora más

de 20 estudios analíticos sobre el radón en los hogares y el cáncer de pulmón. Estos estudios suelen evaluar el riesgo relativo de la exposición al radón sobre la base de estimaciones de la exposición en los hogares durante un período de 25 a 30 años antes del diagnóstico de cáncer de pulmón. El reciente análisis combinado realizados recientemente de estudios de control de casos en hogares confirman que hay un riesgo reducido aunque detectable de cáncer de pulmón a consecuencia de la exposición en los hogares, y que ese riesgo aumenta con la exposición. El exceso de riesgo relativo debido a la exposición a largo plazo al radón en los hogares se ha fijado en  $100 \text{ Bq m}^{-3}$  con razonable precisión y se considera que es de alrededor del 0,16% (después de proceder a la corrección por incertidumbre en la evaluación de la exposición), teniendo en cuenta un factor de tres de incertidumbre, mayor o menor que ese valor. Debido a la interacción sinérgica de los efectos del radón y los de la inhalación del humo del tabaco, los fumadores representan casi el 90% del riesgo basado en la media de población debido a la exposición al radón en los hogares.

48. Aun cuando se producen importantes incertidumbres al extrapolar los riesgos de exposición al radón calculados en los estudios sobre los mineros a la evaluación de los riesgos de esa exposición en los hogares, coinciden de manera notable los factores de riesgo obtenidos en los estudios sobre los mineros y los obtenidos en los estudios de control de casos de exposición en los hogares. La reciente combinación de estudios de control de casos en los hogares de Europa y América del Norte ofrece ahora un método directo para estimar los riesgos que supone la exposición a largo plazo al radón en los hogares. Sobre la base de la información actual, el Comité considera que la utilización de coeficientes de riesgo ajustados a las mediciones de estudios combinados constituye una base adecuada para calcular los riesgos que para las personas entraña la exposición al radón en los hogares.

#### Notas

<sup>1</sup> El Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas fue creado por la Asamblea General en su décimo período de sesiones, celebrado en 1955. Sus atribuciones se enuncian en la resolución 913 (X), de 3 de diciembre de 1955. El Comité se componía originalmente de los siguientes Estados Miembros: Argentina, Australia, Bélgica, Brasil, Canadá, Checoslovaquia, Egipto, Estados Unidos de América, Francia, India, Japón, México, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, Suecia y Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas. Posteriormente, la Asamblea amplió la composición del Comité en la resolución 3154 C (XXVIII), de 14 de diciembre de 1973, conforme a la cual pasaron a ser miembros, Indonesia, el Perú, Polonia, la República Federal de Alemania y el Sudán. En su resolución 41/62 B, de 3 de diciembre de 1986, la Asamblea aumentó a 21 el número máximo de miembros del Comité e invitó a China a sumarse al Comité.

<sup>2</sup> Participaron también en el 54º período de sesiones observadores del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR), la Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas (CIUMR) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

<sup>3</sup> *Documentos Oficiales de la Asamblea General, sexagésimo período de sesiones, Suplemento N° 46 (A/60/46).*

<sup>4</sup> *Documentos Oficiales de la Asamblea General, quincuagésimo quinto período de sesiones, Suplemento N° 46 (A/55/46).*

<sup>5</sup> *Documentos Oficiales de la Asamblea General, sexagésimo período de sesiones, Suplemento N° 7 (A/60/7), Sección IV, párr. IV.46.*

<sup>6</sup> Los informes sustantivos anteriores del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas presentados a la Asamblea General figuran en *Documentos Oficiales de la Asamblea General, decimotercer período de sesiones, Suplemento N° 17 (A/3838)*; *ibíd., decimoséptimo período de sesiones, Suplemento N° 16 (A/5216)*; *ibíd., decimonoveno período de sesiones, Suplemento N° 14 (A/5814)*; *ibíd., vigésimo primer período de sesiones, Suplemento N° 14 (A/6314 y Corr.1)*; *ibíd., vigésimo cuarto período de sesiones, Suplemento N° 13 (A/7613 y Corr.1)*; *ibíd., vigésimo séptimo período de sesiones, Suplemento N° 25 (A/8725 y Corr.1)*; *ibíd., trigésimo segundo período de sesiones, Suplemento N° 40 (A/32/40)*; *ibíd., trigésimo séptimo período de sesiones, Suplemento N° 45 (A/37/45)*; *ibíd., cuadragésimo primer período de sesiones, Suplemento N° 16 (A/41/16)*; *ibíd., cuadragésimo tercer período de sesiones, Suplemento N° 45 (A/43/45)*; *ibíd., cuadragésimo octavo período de sesiones, Suplemento N° 46 (A/48/46)*; *ibíd., cuadragésimo noveno período de sesiones, Suplemento N° 46 (A/49/46)*; *ibíd., quincuagésimo primer período de sesiones, Suplemento N° 46 (A/51/46)*; *ibíd., quincuagésimo quinto período de sesiones, Suplemento N° 46 (A/55/46 y corr.1 en árabe solamente), y quincuagésimo sexto período de sesiones, Suplemento N° 46 (A/56/46)*. En el texto se hace referencia a estos documentos como los informes de 1958, 1962, 1964, 1966, 1969, 1972, 1977, 1982, 1986, 1988, 1993, 1994, 1996, 2000 y 2001 respectivamente. El informe de 1972, con anexos científicos, se publicó con el título *Ionizing Radiation: Levels and Effects, vol. I: Levels y vol. II: Effects* (publicación de las Naciones Unidas, Números de venta: E.72.IX.17 y 18). El informe de 1977, con anexos científicos, se publicó con el título *La radiación Ionizante: Fuentes y efectos biológicos* (publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: S.77.IX.1). El informe de 1982, con anexos científicos, se publicó con el título *La radiación ionizante: Fuentes y efectos biológicos* (publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: S.82.IX.8). El informe de 1986, con anexos científicos, se publicó con el título *Genetic and Somatic Effects of Ionizing Radiation* (publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: E.86.IX.9). El informe de 1988, con anexos científicos, se publicó con el título *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation* (publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: E.88.IX.7). Los informes de 1993, 1994 y 1996, con anexos científicos, se publicaron con el título *Sources and Effects of Ionizing Radiation* (publicaciones de las Naciones Unidas, Números de venta: E.94.IX.2, E.94.IX.11 y E.96.IX.3, respectivamente). El informe de 2000, con anexos científicos, se publicó con el título *Sources and Effects of Ionizing Radiation, vol. I: Sources y vol. II: Effects* (publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: E.00.IX.3 y 4). El informe de 2001, con anexo científico, se publicó con el título *“Hereditary Effects of Radiation”* (publicación de las Naciones Unidas, N° de venta E.01.IX.2).

<sup>7</sup> Concentración equivalente de equilibrio utilizando unidades del Système International (SI). La mayoría de las mediciones históricas, y actuales, de la exposición al radón en las minas se expresan en términos del llamado mes de nivel de trabajo (WLM). 1 WLM equivale a 0,637 MBq h m<sup>-3</sup>.

## Apéndice I

### Miembros de las delegaciones nacionales que asistieron a los períodos de sesiones 50° a 54° del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas

Alemania	C. Streffer (Representante), P. Jacob, A. Kellerer, J. Kiefer, G. Kirchner, W. Köhnlein, W. U. Müller, W. Weiss (Representante)
Argentina	A. J. González (Representante), D. Beninson (Representante), P. Gisone (Representante), M. del Rosario Pérez
Australia	P. A. Burns (Representante), S. Solomon, P. Thomas
Bélgica	J. R. Maisin (Representante), H. Bosmans, A. Debauche, H. Engels, J. Lembrechts, P. Smeesters, J. M. Van Dam, H. Vanmarcke, A. Wambersie, H. Bijwaard, R. O. Blaauboer, M. J. Brugmans
Brasil	D. R. Melo (Representante), J. L. Lipsztein (Representante), E. R. Rochedo
Canadá	N. E. Gentner (Representante), R. P. Bradley, K. Bundy, D. B. Chambers, R. M. Chatterjee (Representante), R. J. Cornett, R. Lane, C. Lavoie, S. Vlahovich (Representante), D. Whillans
China	Pan Z. (Representante), He Q., Hou P., Jia J., Li K., Li J., Liu S., Liu Q., Pan S., Shang B., Shi J., Su X., Sun J., Sun Q., Xiu B., Xuan Y., Yang G., Yang H., Yang X., Yu J.
Egipto	M.A.M. Goma (Representante), A. M. El-Naggar (Representante)
Eslovaquia	E. Bedi (Representante), P. Gaál, V. Klener, L. Tomasek, D. Viktory (Representante)
Estados Unidos de América	F. A. Mettler Jr. (Representante), L. R. Anspaugh, B. G. Bennett, J. D. Boice Jr., N. H. Harley, E. V. Holahan Jr., C. B. Meinhold, R. J. Preston, H. Royal, P. B. Selby, A. G. Sowder
Federación de Rusia	L. A. Ilyin (Representante), R. M. Alexakhin, N. P. Garnyk, A. K. Guskova (Representante), V. K. Ivanov, I. I. Kryshev, B. K. Lobach, O. A. Pavlovsky, T. S. Povetnikova, M. N. Savkin, V. A. Shevchenko
Francia	A. Flüry-Hérard (Representante), E. Ansoborlo, A. Aurengo, D. Averbeck, M. Bourguignon, J. F. Lacronique (Representante), J. Lallemand, J. J. Leguay, C. Luccioni, R. Maximilien, A. Rannou, M. Tirmarche
India	K. B. Sainis (Representante)
Indonesia	Z. Alatas (Representante), K. Wiharto (Representante)
Japón	Y. Sasaki (Representante), T. Asano, M. Doi, A. Iwama, K. Kodama, H. Kuniyoshi, T. Maeyama, M. Nakano, Y. Nakayama, O. Niwa,

---

	M. Sasaki, K. Sato, H. Tatsuzaki, S. Yoshinaga, M. Yoshizawa
México	H. Maldonado (Representante)
Perú	L. V. Pinillos Ashton (Representante)
Polonia	Z. Jaworowski (Representante), L. Dobrzyński, M. Janiak, M. Waligórski
Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	R. Cox (Representante), S. Bouffler, R. H. Clarke (Representante), G. M. Kendall, T. McMillan, C. Muirhead, P. Shrimpton, J. W. Stather
Sudán	K.E.H. Mohamed (Representante)
Suecia	L. E. Holm (Representante), L. Moberg

**Secretaría del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio  
de los Efectos de las Radiaciones Atómicas**

N. E. Gentner  
M. J. Crick

## Apéndice II

### **Lista de personal científico y consultores que han colaborado con el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas en la preparación del informe correspondiente a 2006**

M. Bourguignon

D. B. Chambers

P. Gisone

M. Little

K. Mabuchi

W. F. Morgan

M. del Rosario Pérez

R. Shore

---