



Naciones Unidas

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

**56º período de sesiones
(10 a 18 de julio de 2008)**

**Asamblea General
Documentos Oficiales
Sexagésimo tercer período de sesiones
Suplemento N° 46**

Asamblea General
Documentos Oficiales
Sexagésimo tercer período de sesiones
Suplemento N° 46

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

**56° período de sesiones
(10 a 18 de julio de 2008)**



Naciones Unidas • Nueva York, 2008

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.

Índice

Capítulo

Página

I.	Introducción	1
II.	Deliberaciones del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas en su 56º período de sesiones.	2
III.	Plan estratégico y programa de trabajo del Comité	4
IV.	Informe científico	6
	A. Fuentes de exposición a las radiaciones	10
	B. El accidente de Chernobyl	26
	C. Efectos en la biota no humana	30

Apéndices

I.	Miembros de las delegaciones nacionales que asistieron a los períodos de sesiones 50º a 56º del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas, en los cuales se elaboró el informe científico de 2008	32
II.	Personal científico y consultores que colaboraron con el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas en la preparación del informe científico del Comité correspondiente a 2008	34

I. Introducción

1. La exposición a las radiaciones tiene diversos orígenes, como por ejemplo, los procedimientos de diagnóstico y terapia médicos, la producción y ensayo de armas nucleares, la radiación natural de fondo, la producción de energía nuclear, los accidentes como el ocurrido en Chernobyl en 1986 y las ocupaciones que entrañan una gran exposición a fuentes de radiación antropógenas o naturales.

2. Desde el establecimiento del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas en virtud de la resolución 913 (X) de la Asamblea General, de 3 de diciembre de 1955, el mandato del Comité ha sido realizar estudios amplios de las fuentes de radiación ionizante y los efectos de esa radiación en la salud de los seres humanos y el medio ambiente. En cumplimiento de su mandato, el Comité examina y evalúa a fondo los niveles mundial y regional de exposición a las radiaciones, y analiza los indicios que pueda haber de los efectos de la radiación en la salud de grupos expuestos, incluidos los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón. El Comité también examina los avances registrados en el conocimiento de los mecanismos biológicos que pueden inducir efectos de las radiaciones en la salud o el medio ambiente. Esos estudios constituyen el fundamento científico utilizado, entre otros, por los organismos pertinentes del sistema de las Naciones Unidas a fin de formular normas internacionales para la protección de la población y los trabajadores contra la radiación ionizante¹; a su vez, esas normas se vinculan a importantes instrumentos jurídicos y de regulación.

¹ Actualmente los organismos encargados de proponer las normas básicas de seguridad internacionales para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación son la Organización Internacional del Trabajo (OIT), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Agencia para la Energía Nuclear de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos, y la Organización Panamericana de la Salud.

II. Deliberaciones del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas en su 56º período de sesiones

3. El Comité celebró su 56º período de sesiones en Viena del 10 al 18 de julio de 2008². Norman Gentner (Canadá), Wolfgang Weiss (Alemania) y Mohamed A. Gomaa (Egipto) actuaron en calidad de Presidente, Vicepresidente y Relator, respectivamente. El Comité examinó y aprobó para su publicación cinco anexos científicos que había analizado en su 55º período de sesiones (21 a 25 de mayo de 2007) y que había señalado a la atención de la Asamblea General en su informe sobre ese período de sesiones³. Como ya se ha indicado⁴, el Comité había previsto inicialmente que esos documentos se publicaran en 2005.

4. En cuanto al informe con cinco anexos científicos que había aprobado en 2006⁵, el Comité expresó su decepción por que el volumen I no se había publicado hasta julio de 2008 y el volumen II no se publicaría probablemente antes de diciembre 2008, teniendo en cuenta que los Estados Miembros y algunas organizaciones⁶ estaban contando con la información recogida en ese informe, al cual los miembros del Comité habían aportado inestimables conocimientos especializados. Se observó que las demoras podían atribuirse en parte a la cantidad insuficiente de personal y a la carencia de recursos suficientes, seguros y previsibles.

5. El Comité tomó nota de que la Asamblea General, en su resolución 62/100, de 17 de diciembre de 2007, había hecho un llamamiento al Secretario General para que adoptara las medidas administrativas necesarias a fin de que la secretaría pudiera prestar servicios adecuados al Comité de manera predecible y sostenible, y había pedido al Secretario General que le presentara en su sexagésimo tercer período de sesiones un informe amplio y consolidado, preparado en consulta con el

² Asistieron al 56º período de sesiones del Comité los miembros del Comité y las personas de contacto oficiales de Belarús, la Federación de Rusia y Ucrania para las cuestiones relacionadas con el accidente de Chernobyl, observadores de Belarús, España, Finlandia, el Pakistán, la República de Corea y Ucrania, y observadores del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el OIEA, la OMS, el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer, la Comisión Europea, la Comisión Internacional de Protección Radiológica, la Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas, la Organización Internacional de Normalización y la Unión Internacional de Radioecología.

³ *Documentos Oficiales de la Asamblea General, sexagésimo segundo período de sesiones, Suplemento N° 46 (A/62/46)*, párr. 3.

⁴ *Ibid.*, *quincuagésimo sexto período de sesiones, Suplemento N° 46 (A/56/46)*, párr. 10.

⁵ *Ibid.*, *sexagésimo primer período de sesiones, Suplemento N° 46 (A/61/46)*, párr. 2.

⁶ En su quincuagésimo primer período ordinario de sesiones, la Conferencia General del OIEA, en su resolución GC(51)/RES/11, titulada “Medidas para fortalecer la cooperación internacional en materia de seguridad nuclear, radiológica y del transporte y de gestión de desechos”, observó que la Secretaría del OIEA había iniciado la revisión de las Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación con la participación de patrocinadores; tomó conocimiento del informe del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas sobre su 54º período de sesiones (*Documentos Oficiales de la Asamblea General, sexagésimo primer período de sesiones, Suplemento N° 46 (A/61/46)*); y urgió a la Secretaría del OIEA a que considerara detenidamente y justificara todo posible cambio de las Normas básicas de seguridad, velando por su coherencia con, entre otras cosas, el informe del Comité.

Comité, según procediese, en el que se examinaran las consecuencias financieras y administrativas del aumento del número de miembros del Comité, la plantilla de la secretaría profesional y los métodos para obtener una financiación suficiente, segura y previsible. Se pidió a la secretaría que facilitara la inclusión en el informe del Secretario General de los criterios del Comité sobre esas cuestiones.

6. El Comité decidió celebrar su 57º período de sesiones en Viena del 25 al 29 de mayo de 2009.

III. Plan estratégico y programa de trabajo del Comité

7. El Comité había aprobado un plan estratégico⁷ para impartir visión y orientación respecto de todas sus actividades durante el período 2009-2013, a fin de facilitar la labor de programación basada en los resultados que debía realizar la secretaría, fomentar la gestión de recursos suficientes, seguros y previsibles y mejorar la planificación y coordinación entre las distintas partes interesadas.

8. El Comité consideró que su objetivo estratégico para el período era lograr una mayor concienciación y la profundización de los conocimientos de las autoridades, la comunidad científica y la sociedad civil respecto de los niveles de radiación ionizante y los efectos conexos en la salud y el medio ambiente, como base sólida para adoptar decisiones bien fundadas sobre las cuestiones relativas a las radiaciones.

9. Se determinó que las prioridades temáticas para ese período serían la exposición médica de los pacientes, los niveles de radiación y los efectos de la producción de energía, la exposición a fuentes de radiación naturales y un mejor conocimiento de los efectos de la exposición a tasas de radiación de dosis baja.

10. Se previeron varios cambios estratégicos para satisfacer mejor las necesidades de los Estados Miembros, a saber: a) la simplificación del proceso de evaluaciones científicas del Comité, mediante la preparación cada cuatro o cinco años de informes resumidos, breves pero de muy amplio espectro, sobre los niveles y los efectos de la exposición a las radiaciones y la preparación de informes especiales que resulten necesarios ante las nuevas cuestiones que surjan, y el establecimiento de grupos de expertos, y permanentes encargados de abordar nuevas cuestiones y de redes de centros de excelencia que ayuden a ejecutar el plan; b) el mejoramiento de los mecanismos de reunión, análisis y divulgación de datos; c) el perfeccionamiento de la planificación basada en los resultados, incluso mediante una mejor coordinación con otras partes interesadas para establecer esferas de sinergia y evitar incoherencias; y d) la creación de conciencia y una mayor divulgación, mejorando el sitio web del Comité y dando a conocer los resultados de su labor en formatos de fácil comprensión para las instancias decisorias y la población.

11. Se dio por sentado que la ejecución del plan estratégico aumentaría la labor del Comité entre períodos de sesiones y que sería preciso adoptar medidas tanto para disipar la preocupación del Comité de que el hecho de contar con un solo puesto del cuadro orgánico en su secretaría lo había dejado extremadamente vulnerable y había restado eficiencia a la ejecución de su programa de trabajo aprobado, como para elaborar métodos que aseguraran una financiación suficiente, segura y previsible, como pidió la Asamblea General en su resolución 62/100.

12. En cuanto a su programa de trabajo futuro, el Comité decidió comenzar a trabajar de manera inmediata respecto de las evaluaciones de los niveles de radiación debidos a la producción de energía y sus efectos en la salud humana y el medio ambiente; las incertidumbres en las estimaciones del riesgo de radiación; las causas a las que podrían atribuirse los efectos de la exposición a las radiaciones sobre la salud (en respuesta al párrafo 6 de la resolución 62/100 de la Asamblea General); la actualización de su metodología para la estimación de la exposición a

⁷ A disposición de los interesados que lo soliciten al Secretario del Comité.

las radiaciones debida a las descargas de instalaciones nucleares; un resumen de los efectos de la radiación; y el mejoramiento de la reunión, el análisis y la divulgación de datos. Tan pronto se dispusiera de recursos, podrían comenzar otros trabajos sobre los efectos biológicos de emisores internos decisivos, la exposición médica de los pacientes, el aumento de la exposición a fuentes de radiación naturales como resultado de la actividad humana, la información pública y la creación de una base de conocimientos sobre los niveles de radiación y sus efectos. El Comité autorizó a la secretaría a adoptar las medidas que considerara pertinentes para ejecutar el plan estratégico y el programa de trabajo futuro.

IV. Informe científico

13. El informe científico y sus anexos se elaboraron entre los períodos de sesiones 50º y 56º del Comité, ambos inclusive, sobre la base de documentos presentados por la secretaría. En esos períodos de sesiones actuaron de Presidente, Vicepresidente y Relator, respectivamente:

<i>Período de sesiones</i>	<i>Presidente</i>	<i>Vicepresidente</i>	<i>Relator</i>
50º período de sesiones	J. Lipsztein (Brasil)	Y. Sasaki (Japón)	R. Chatterjee (Canadá)
51º período de sesiones	J. Lipsztein (Brasil)	Y. Sasaki (Japón)	R. Chatterjee (Canadá)
52º período de sesiones	Y. Sasaki (Japón)	R. Chatterjee (Canadá)	P. Burns (Australia)
53º período de sesiones	Y. Sasaki (Japón)	P. Burns (Australia)	N. Gentner (Canadá)
54º período de sesiones	P. Burns (Australia)	N. Gentner (Canadá)	C. Streffer (Alemania)
55º período de sesiones	P. Burns (Australia)	N. Gentner (Canadá)	W. Weiss (Alemania)
56º período de sesiones	N. Gentner (Canadá)	W. Weiss (Alemania)	M. Gomaa (Egipto)

14. Los nombres de los miembros de las delegaciones nacionales que asistieron a esos períodos de sesiones aparecen en el apéndice I. El Comité desea reconocer las aportaciones a los debates hechas por los representantes de los organismos especializados del sistema de las Naciones Unidas y de otras organizaciones. También desea expresar su gratitud a un pequeño grupo de consultores que ayudaron a preparar el material (véase el apéndice II). Ellos tuvieron a su cargo la evaluación preliminar de la información técnica pertinente, en la que se basaron las deliberaciones finales del Comité.

15. En su labor, el Comité aplicó un criterio científico al material examinado y se tomó el cuidado de asumir una posición independiente y neutral en sus conclusiones. De acuerdo con la práctica establecida, los resultados han quedado recogidos en el presente informe. Sus anexos científicos están dirigidos a la comunidad científica y saldrán a la luz de manera independiente como publicación de las Naciones Unidas destinada a la venta.

Perspectiva general

16. Desde el comienzo mismo de su existencia en el planeta, los seres humanos han estado expuestos a la radiación ionizante proveniente de fuentes naturales, aunque esa exposición pueda verse modificada por la actividad humana. Además, durante aproximadamente los últimos cien años han surgido nuevas fuentes de radiación artificiales. Las últimas estimaciones de los niveles y tendencias de la exposición a la radiación hechas por el Comité datan de su informe correspondiente a 2000⁸. En el presente informe se actualizan y amplían esas estimaciones; en el cuadro 1 se resumen los valores actualizados de las dosis y los intervalos anuales medios de la exposición a la radiación proveniente de todas las fuentes⁹.

⁸ *Documentos Oficiales de la Asamblea General, quincuagésimo quinto período de sesiones, Suplemento N° 46 (A/55/46).*

⁹ Véase un análisis del concepto de dosis de radiación en el párrafo 26 *infra*.

Cuadro 1
Dosis media anual e intervalos de dosis individuales de radiación ionizante por fuente
(Milisievert^a)

<i>Fuente o tipo de exposición</i>	<i>Dosis media anual mundial</i>	<i>Intervalo típico de las dosis individuales</i>	<i>Observaciones</i>
Fuentes de exposición naturales			
Inhalación (gas radón)	1,26	0,2–10	La dosis es muy superior en algunas viviendas.
Radiación terrestre externa	0,48	0,3–1	La dosis es superior en algunos lugares.
Ingestión	0,29	0,2–1	
Radiación cósmica	0,39	0,3–1	La dosis aumenta con la altitud.
Total natural	2,4	1–13	Grupos de población importantes reciben entre 10 y 20 milisievert (mSv).
Fuentes de exposición artificiales			
Diagnóstico médico (excluida la terapia)	0,6	0–varias decenas.	La media correspondiente a distintos niveles de atención médica oscila entre 0,03 y 2,0 mSv; la media en algunos países es superior a la de la exposición a fuentes naturales; la dosis individual depende del tipo de examen aplicado.
Ensayos nucleares en la atmósfera	0,005	Pueden producirse algunas dosis más altas en las inmediaciones de los polígonos de ensayo.	La media ha disminuido después del valor máximo de 0,11 mSv registrado en 1963.
Exposición profesional	0,005	~0–20	La dosis media de todos los trabajadores es de 0,7 mSv. Casi siempre la dosis media y los niveles más altos de exposición se deben a la radiación natural (concretamente el radón en las minas).
Accidente de Chernobyl	0,002 ^b	En 1986, la dosis media recibida por más de 300.000 trabajadores de recuperación llegó a casi 150 mSv; y otras más de 350.000 personas recibieron dosis superiores a 10 mSv.	La media en el hemisferio septentrional ha disminuido de un valor máximo de 0,04 mSv registrado en 1986. La dosis tiroidea fue muy superior.
Ciclo del combustible nuclear (exposición de la población)	0,0002 ^b	La dosis llega hasta 0,02 mSv en grupos críticos a un km de distancia de algunos emplazamientos de reactores nucleares.	
Total artificial	0,6	Desde básicamente cero a varias decenas.	Las dosis individuales dependen fundamentalmente del tratamiento médico, la exposición profesional y la proximidad al polígono de ensayo o al lugar del accidente.

^a Unidad de medida de la dosis efectiva.

^b Radionúclidos dispersos a nivel mundial. El valor del ciclo del combustible nuclear representa la dosis anual máxima por persona que recibirá la población en el futuro, partiendo de la hipótesis de que la práctica continúe durante 100 años, y se debe fundamentalmente a los radionúclidos de período largo, dispersos a nivel mundial, liberados durante la reelaboración del combustible nuclear y el funcionamiento de las centrales nucleares.

17. Las principales fuentes naturales de exposición a las radiaciones son la radiación cósmica y los radionúclidos naturales presentes en la tierra y las rocas. La radiación cósmica es notablemente superior en las altitudes de crucero de los aviones de reacción que en la superficie de la Tierra. Las tasas de exposición externa debida a los radionúclidos naturales varían considerablemente de un lugar a otro y pueden llegar a exceder 100 veces la media. Un radionúclido importante es el radón, un gas que se forma durante la desintegración del uranio natural presente en la tierra y que penetra en los hogares. La exposición debida a la inhalación del radón por las personas que viven y trabajan en interiores varía drásticamente en dependencia de la geología local, las características constructivas de los edificios y los estilos de vida doméstica; ese tipo de exposición representa aproximadamente el 50% de la exposición media de los seres humanos a las fuentes de radiación naturales.

18. El Comité evaluó los otros tipos de exposición a las radiaciones debidos a las actividades con fines militares y pacíficos. En varios polígonos, casi todos situados en el hemisferio septentrional, se habían realizado explosiones de ensayos nucleares en la atmósfera, la mayoría concentrada en el período 1952-1958 y los años 1961 y 1962. La precipitación radiactiva debida a esos ensayos representa una fuente de exposición continua a las radiaciones incluso en la actualidad, aunque a niveles muy bajos. Existe preocupación respecto del regreso de los residentes de zonas de ensayos nucleares, ya que en algunos lugares los niveles de residuos radiactivos son considerables. Las personas que viven próximas a lugares en que se produjeron materiales y armas nucleares están expuestas también a las radiaciones. Asimismo, la utilización del uranio empobrecido con fines militares, especialmente en la fabricación de municiones perforantes de blindaje, ha suscitado preocupaciones respecto de la contaminación residual, aunque en términos generales los niveles de exposición son insignificantes.

19. En cuanto a la utilización de las radiaciones con fines pacíficos, la exposición médica fue con mucho la forma predominante. Ese tipo de exposición es casi siempre voluntaria y reporta un beneficio directo a la persona expuesta. Independientemente del nivel de atención médica de un país, la utilización de las radiaciones con fines médicos sigue aumentando a medida que las técnicas se perfeccionan y generalizan. Cada año se realizan en todo el mundo unos 3.600 millones de exámenes radiológicos. En países con niveles altos de atención médica, la exposición médica a las radiaciones representa actualmente, como promedio, alrededor del 80% de la exposición a fuentes de radiación naturales.

20. La producción de energía eléctrica en centrales nucleares ha aumentado de manera constante desde 1956. El ciclo del combustible nuclear comprende la extracción y tratamiento del uranio, la fabricación del combustible, la producción de energía en el reactor nuclear, el almacenamiento o reelaboración del combustible irradiado y el almacenamiento y eliminación de desechos radiactivos. Las dosis de radiación a que está expuesta la población varían mucho de un tipo de instalación a otra, pero suelen ser bajas y disminuyen notablemente a medida que aumenta la distancia a que se encuentra la instalación. Las dosis recibidas por las poblaciones locales y regionales a partir de los reactores nucleares disminuyen con el tiempo gracias a la reducción de los niveles de descarga.

21. En el ámbito de la exposición profesional, la atención se había centrado tradicionalmente en las fuentes de radiación artificiales; sin embargo, en la

actualidad se reconoce que un número muy grande de trabajadores están expuestos a fuentes de radiación naturales. La exposición profesional a las radiaciones en centrales nucleares comerciales ha venido disminuyendo de manera constante durante los últimos 30 años, pese a notables diferencias entre los tipos de reactor. Las estimaciones de la exposición debida al ciclo del combustible nuclear son por lo general más completas y exhaustivas que las que se refieren a otros usos de las radiaciones. En cambio, la vigilancia y notificación de la exposición profesional en los sectores de la medicina y la industria son menos integrales. Si bien la dosis media de exposición de los trabajadores de todos los grupos ocupacionales ha disminuido notablemente durante los últimos dos decenios, la exposición profesional a fuentes de radiación naturales apenas ha sufrido cambios.

22. Se ha producido un pequeño número de accidentes relacionados con el ciclo del combustible nuclear, los cuales han recibido amplia publicidad. Sin embargo, han tenido lugar más de 100 accidentes con fuentes industriales y médicas, especialmente con las denominadas fuentes “huérfanas” (es decir, no sujetas a los controles reglamentarios), que han ocasionado lesiones a trabajadores y a la población. También pueden ocurrir accidentes durante los usos médicos de las radiaciones, casi siempre por error humano o mecánico durante la radioterapia. Aunque se sabe que los accidentes relacionados con fuentes huérfanas y los usos médicos de las radiaciones se han vuelto más frecuentes, es probable que las cifras actuales de las estimaciones reflejen a niveles inferiores, o posiblemente muy inferiores, a los reales, debido a que los datos son incompletos.

23. El accidente que tuvo lugar en la central nuclear de Chernobyl en 1986 fue el más grave de la historia de la producción de energía nuclear con fines civiles. Dos trabajadores murieron inmediatamente después del accidente y 134 miembros del personal de la central y del personal de emergencia padecieron un síndrome de radiación aguda que provocó la muerte de 28 de ellos. Varios cientos de miles de trabajadores participaron posteriormente en las actividades de recuperación. Según algunos informes, entre las personas expuestas a las dosis de radiación más altas en 1986 y 1987 se observó una incidencia más alta de leucemia y catarata. En la actualidad no existe ninguna otra prueba firme de otros efectos de las radiaciones en la salud. La nube radiactiva provocada por el accidente depositó importantes cantidades de material radiactivo sobre grandes zonas de la antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas y otras partes de Europa que contaminó la tierra, el agua y la biota y ocasionó trastornos sociales y económicos particularmente graves a grandes sectores de la población de los países que se conocen hoy como Belarús, la Federación de Rusia y Ucrania. Entre las personas que en 1986 eran niños o adolescentes de las zonas afectadas de la antigua Unión Soviética, se han comunicado más de 6.000 casos de cáncer de tiroides (hasta la fecha, sólo un pequeño número de esos casos han sido mortales), de los cuales una importante proporción podría atribuirse al consumo de leche contaminada con el radionúclido de período corto yodo-131. A más largo plazo, la población general también estuvo expuesta a la radiación (crónica de baja intensidad), aunque hasta el momento no existen pruebas firmes de algún otro efecto de las radiaciones en la salud de la población general.

24. En su informe científico correspondiente a 1996, el Comité evaluó las tasas de exposición por debajo de las cuales era poco probable que se produjeran efectos en la salud de poblaciones de especies distintas de la humana. Desde entonces, el

Comité ha examinado los criterios de evaluación de las dosis de radiación de especies distintas de la humana, así como la nueva información científica sobre los efectos radiobiológicos en plantas y animales (en particular, la obtenida mediante la vigilancia permanente de las consecuencias medioambientales del accidente de Chernobyl). Ese examen no ha arrojado pruebas que justifiquen modificar las conclusiones recogidas en el informe de 1996 en el sentido de que no se prevén efectos en la salud de los individuos más expuestos de la población expuesta a las radiaciones si las tasas de dosis crónica son inferiores a 0,1 miligray por hora o si las dosis agudas se mantienen por debajo de 1 gray.

A. Fuentes de exposición a las radiaciones

25. Toda materia está compuesta por átomos. Algunos de éstos son estables en su forma natural, otros son inestables. La radiactividad es un fenómeno natural que ocurre cuando un átomo con núcleo inestable se transforma espontáneamente liberando energía en forma de radiación ionizante. Esos elementos inestables se conocen como radionúclidos y son radiactivos. La radiación liberada puede tomar la forma de partículas (electrones, neutrones y partículas alfa) o de radiación gamma electromagnética o rayos X, todos con diferentes cantidades de energía. La radiación también puede ser emitida artificialmente por las máquinas.

26. Cuando la radiación ionizante penetra en un medio material, incluso el tejido vivo, deposita una cantidad de energía que a la larga produce ionización y excitación en ese medio. La cantidad de energía depositada que es dividida por la masa de tejido expuesta se llama dosis absorbida y suele medirse en unidades conocidas como miligray. El daño biológico ocasionado por la radiación está relacionado con la cantidad de energía depositada. Sin embargo, al calcular los posibles efectos biológicos se tiene en cuenta el hecho de que distintos tipos de radiación tienen efectos biológicos diferentes frente a una misma cantidad de energía depositada y de que los tejidos también reaccionan de manera diferente. En la esfera de la protección radiológica se utiliza una cantidad ponderada que se denomina dosis efectiva, la cual constituye el indicador más común de los posibles efectos biológicos que se vinculan con la exposición a la radiación ionizante en los seres humanos. La dosis efectiva (que aquí llamaremos sencillamente “dosis”) suele expresarse en milisievert (mSv). La exposición total de un grupo de personas a las radiaciones se denomina dosis colectiva y se expresa en hombre-sievert (hombre-Sv). Como referencia para comparaciones posteriores, la dosis media anual por persona en el mundo debida a la radiación de fondo natural es 2,4 mSv, mientras que la dosis colectiva anual correspondiente de la población mundial debida a la radiación de fondo natural es de unos 16 millones hombre-Sv.

1. Fuentes naturales

27. En la mayoría de las personas, la exposición a la radiación de fondo natural constituye el principal componente de su exposición total a las radiaciones. Aunque las fuentes de radiación son naturales, la exposición se ve afectada por la actividad humana, cuyo ejemplo más sencillo es el hecho de vivir en una casa. Los materiales de construcción sirven de blindaje contra la radiación procedente de la tierra, pero pueden en sí mismos contener radionúclidos que aumentan la exposición. Además,

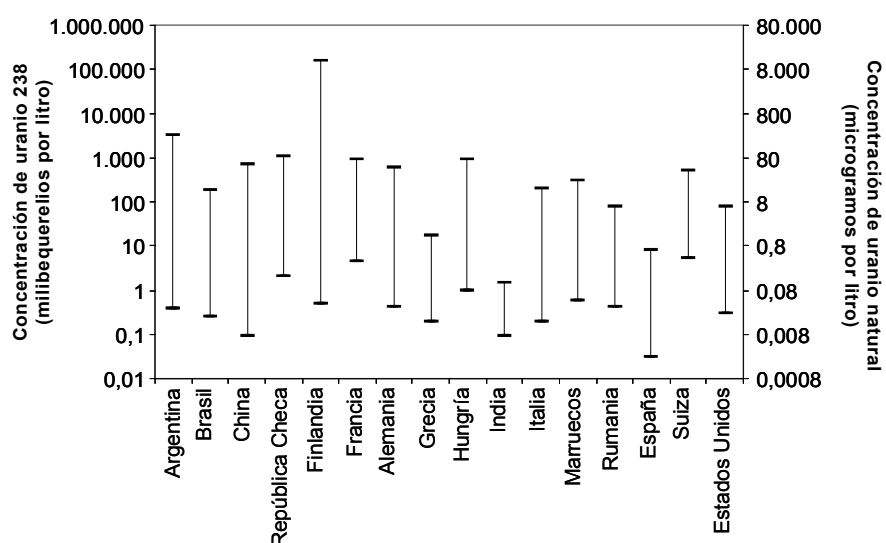
las edificaciones pueden atrapar el gas radón y así aumentar el nivel de exposición en comparación con la que se produce al aire libre.

28. La radiación cósmica (es decir, la radiación que proviene del espacio ultraterrestre) se ve atenuada significativamente por la atmósfera terrestre. Al nivel del mar, contribuye a alrededor del 15% de la dosis total recibida de fuentes de radiación naturales; sin embargo, a mayores altitudes y especialmente en el espacio ultraterrestre, constituye la principal fuente de radiación. A las altitudes de crucero de los aviones comerciales, la tasa de dosis media oscila entre 0,003 y 0,008 mSv por hora, es decir, unos dos órdenes de magnitud por encima de la correspondiente al nivel del mar.

29. Todo lo que está en la Tierra, o sobre ésta, contiene radionúclidos. Los llamados radionúclidos primordiales presentes en la corteza terrestre (potasio 40, uranio 238 y torio 232), junto con los radionúclidos en que éstos se desintegran, emiten radiación. Las estimaciones de la exposición externa¹⁰ varían considerablemente de un lugar a otro. Algunos lugares concretos presentan concentraciones tan altas de esos radionúclidos que las tasas de dosis pueden ser cien veces superiores al valor medio mundial. Esos radionúclidos, y algunos formados por la interacción de los rayos cósmicos con la atmósfera terrestre, también están presentes en los alimentos y las bebidas y por esa vía llegan al cuerpo. Las concentraciones de los radionúclidos naturales en el medio ambiente son muy variables (véase la figura I). La mayor parte de la dosis debida a esa exposición interna¹⁰ se debe al potasio 40.

Figura I

Variabilidad de las concentraciones de uranio natural observada en el agua potable



Nota: Las líneas verticales expresan el intervalo de los valores observados en el país. Las escalas de los ejes verticales aumentan en factores de 10.

¹⁰ La exposición externa se refiere a la exposición a la radiación que está fuera del cuerpo, mientras que la exposición interna hace referencia a la exposición a la radiación debida al material radiactivo absorbido por el cuerpo.

30. Un radionúclido producido por la serie radiactiva del uranio 238 es el radón 222 (también conocido sencillamente como “radón”). Este gas es un componente normal de los gases del suelo que penetran en las edificaciones. Cuando se inhala el radón, algunos de sus productos de desintegración de período corto permanecen en los pulmones e irradian las células del tracto respiratorio. Los niveles de radón varían drásticamente en dependencia de la geología local subyacente y otros factores como la permeabilidad del suelo, las características constructivas de la edificación, el clima y los modos de vida doméstica. Se han realizado programas de medición muy amplios que han servido de base para la aplicación de medidas destinadas a reducir las concentraciones del gas radón en interiores. El radón representa aproximadamente el 50% de la exposición media a fuentes de radiación naturales.

31. En el cuadro 1 *supra* se presentan las estimaciones de la dosis individual y media anual de radiación ionizante debida a la exposición a todas las fuentes de radiación naturales.

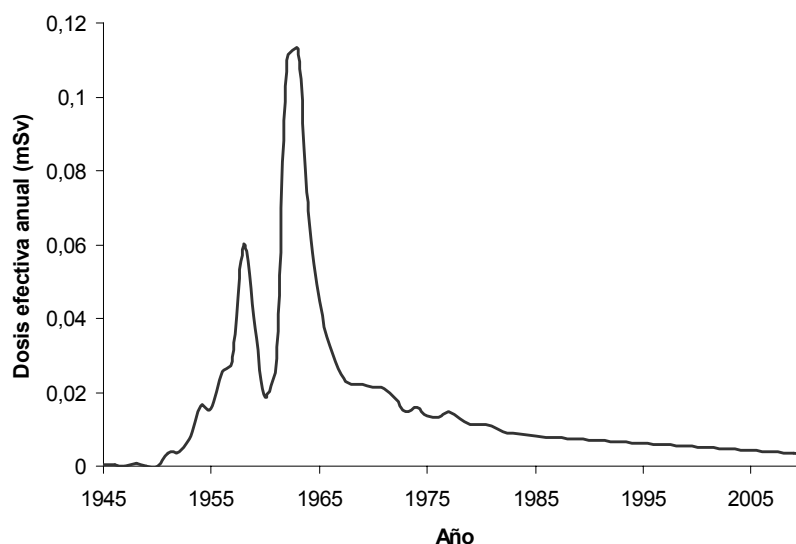
2. Fuentes artificiales

a) Exposición a las radiaciones debida a actividades militares

32. Entre 1945 y 1980 tuvieron lugar explosiones de ensayos nucleares en distintos polígonos, ubicados sobre todo en el hemisferio septentrional. El mayor número de esos ensayos se concentró en el período de 1952 a 1958 y los años 1961 y 1962. En conjunto, se realizaron 502 ensayos que liberaron una energía total de 434 megatoneladas de equivalente de trilita (TNT). La estimación de la dosis efectiva anual por persona de radiación ionizante debida a la precipitación mundial provocada por los ensayos de armas nucleares en la atmósfera alcanzó el valor más alto de 0,11 mSv en 1963 y posteriormente disminuyó hasta alcanzar su nivel actual de unos 0,005 mSv (véase la figura II). Esta fuente de exposición disminuirá sólo muy lentamente en el futuro ya que hoy día se debe en gran medida al radionúclido de período largo carbono 14.

Figura II

Estimación de la dosis efectiva anual por persona de radiación ionizante en el mundo debida a ensayos de bombas atómicas, 1945-2005



33. Las personas que vivían en las proximidades de los polígonos de ensayo quedaron expuestas también a la precipitación radiactiva local. Como los polígonos y las características de los ensayos eran muy diferentes entre sí, las dosis sólo pueden calcularse por separado mediante estudios muy pormenorizados de cada polígono. Muchos de esos estudios se iniciaron a finales del decenio de 1990 y principios del actual y no han terminado aún. No cabe duda de que algunas personas que vivían en las inmediaciones de los polígonos en el momento en que se realizaron los ensayos recibieron dosis muy altas. En la actualidad existen preocupaciones respecto de la nueva utilización de las zonas de los ensayos nucleares, ya que los residuos radiactivos en algunos entornos pueden ser considerables.

34. De 1962 a 1990, después de la firma en 1963 del Tratado por el que se prohíben los ensayos con armas nucleares en la atmósfera, el espacio ultraterrestre y debajo del agua¹¹, se realizaron normalmente hasta 50 o más explosiones subterráneas anualmente; después se realizaron algunos otros ensayos más. La mayoría de los ensayos subterráneos liberaron una potencia muy inferior a la de los ensayos en la atmósfera, y en general se contuvieron los desechos radiactivos salvo cuando se liberaron gases a la atmósfera por aireación o involuntariamente. Los ensayos generaron una gran cantidad de residuos radiactivos que no se prevé que constituyan una fuente de exposición de la población a las radiaciones ya que se hallan enterrados a gran profundidad y en lo fundamental están fundidos con la roca hospedante.

35. Además de los ensayos de armas propiamente dichos, las instalaciones en que se produjo material nuclear y se fabricaron armas nucleares constituyeron otra fuente de liberación de radionúclidos que produjo la exposición de las poblaciones locales a las radiaciones.

36. Un derivado del enriquecimiento del uranio es el uranio empobrecido, el cual es menos radiactivo que el uranio natural. Su propiedad más peligrosa radica en su toxicidad química. Salvo en escasas situaciones concretas (como la manipulación a largo plazo), se considera que el nivel de exposición a las radiaciones debida al uranio empobrecido es insignificante.

b) Exposición a las radiaciones debida a actividades pacíficas

i) Exposición de los pacientes

37. La exposición de los pacientes a la radiación ionizante está vinculada a la radiología de diagnóstico, la medicina nuclear y la radioterapia. El Comité realizó un estudio de la exposición médica a las radiaciones durante el período 1997-2007. Los datos del estudio presentan algunas limitaciones, ya que la mayoría de las respuestas se recibieron de los países relativamente más desarrollados. La comparación explícita de las dosis debidas a la exposición médica con las de otras fuentes no es oportuna, ya que los pacientes reciben un beneficio directo de su exposición y, además, pueden estar enfermos o tener más edad que la población general. De hecho, es probable que el aumento de la exposición médica a las radiaciones se asocie a mayores beneficios para la salud de la población.

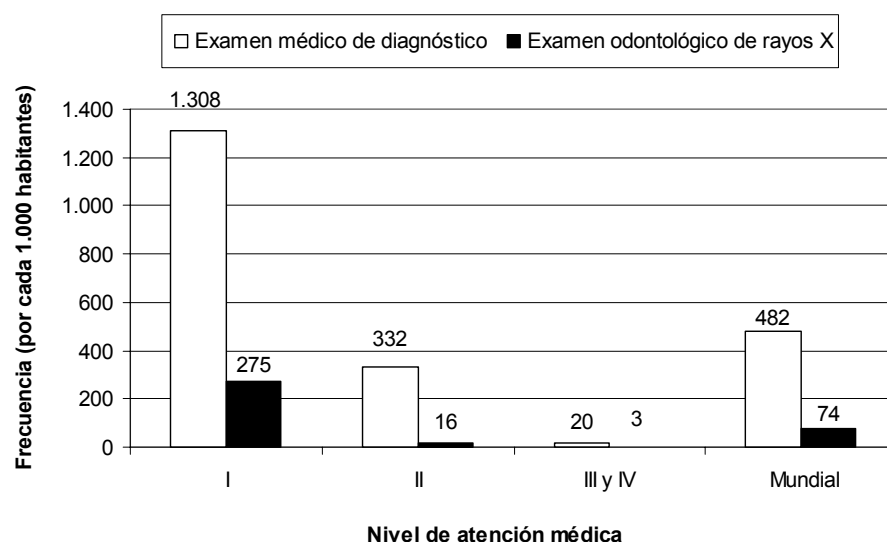
¹¹ Naciones Unidas, *Treaty Series*, vol. 480, N° 6964.

Exposición médica por motivos de diagnóstico

38. Desde que se realizó el estudio anterior (correspondiente al período 1991-1996), se calcula que el total de exámenes médicos de diagnóstico (tanto médico como odontológico) aumentó de 2.400 millones a 3.600 millones, lo que representa un incremento de aproximadamente el 50%. Como en informes anteriores del Comité, los datos se agrupan según el nivel de atención médica del país (I, II, III o IV, en los que el nivel I es el más alto y el IV es el más bajo, atendiendo al número de habitantes por médico). En la figura III se presenta, respecto del período 1997-2007, la frecuencia anual de los exámenes médicos de rayos X por nivel de asistencia médica. Como se puede observar en la figura, esos fueron más de 65 veces más frecuentes en los países del nivel I (que representan el 24% de la población mundial) que en los países de los niveles III y IV (que representan el 27% de la población mundial). La gran disparidad de los servicios de atención médica se refleja también en el equipo de rayos X y los médicos disponibles.

Figura III

Frecuencia anual media de los exámenes médicos de diagnóstico y los exámenes odontológicos de rayos X, por nivel de atención médica, 1997-2007



39. En el cuadro 2 *infra* se presenta la tendencia del uso de la radiología de diagnóstico y otros tipos conexos de exposición a las radiaciones.

Cuadro 2

Tendencia de la exposición a las radiaciones debida a la radiología de diagnóstico

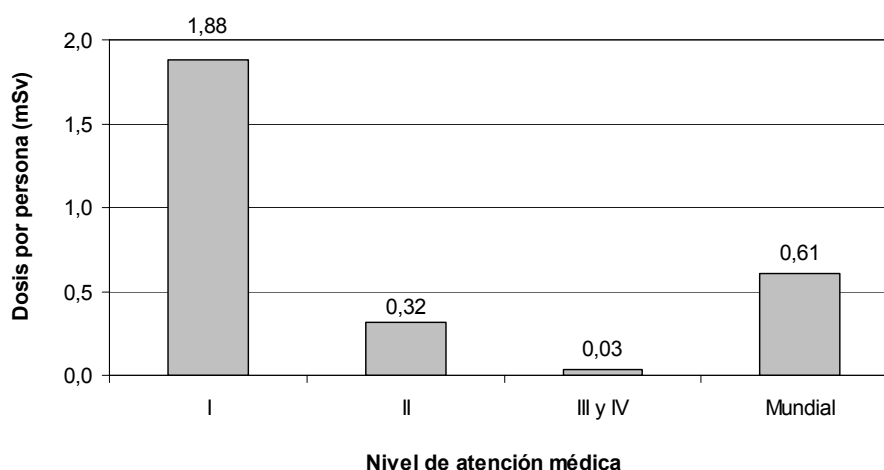
<i>Año del informe del Comité en que se analizaron los datos del estudio</i>	<i>Número de exámenes (millones)</i>	<i>Dosis efectiva colectiva (hombre-Sv)</i>	<i>Dosis anual por persona (mSv)</i>
1988	1 380	1 800 000	0,35
1993	1 600	1 600 000	0,3
2000	1 910	2 300 000	0,4
2008	3 100	4 000 000	0,6

40. Como parte de esa tendencia, la nueva tecnología de rayos X de dosis alta (en particular la tomografía computadorizada) está provocando un aumento extremadamente rápido del número de exámenes anuales en muchos países y, por extensión, un incremento notable de las dosis colectivas. Para varios países, esto ha constituido el primer momento de la historia en que las dosis por persona y colectiva anuales de radiación ionizante debidas a la radiología de diagnóstico han sido superiores a las recibidas de la fuente que hasta entonces había sido la más importante (la radiación de fondo natural).

41. Desde el último estudio analizado por el Comité, se calcula que la dosis efectiva colectiva total debida a los exámenes de diagnóstico médico ha aumentado en 1,7 millones hombre-Sv, de unos 2,3 millones a unos 4 millones hombre-Sv, lo que representa un incremento de alrededor del 70%. En la figura IV se presenta la media anual de la dosis efectiva por persona de radiación ionizante por nivel de atención médica y respecto de la población mundial debida a los exámenes médicos de diagnóstico y los exámenes odontológicos de rayos X.

Figura IV

Media anual de la dosis efectiva por persona de radiación ionizante debida a los exámenes médicos de diagnóstico y los exámenes odontológicos de rayos X, por nivel de atención médica, 1997-2007

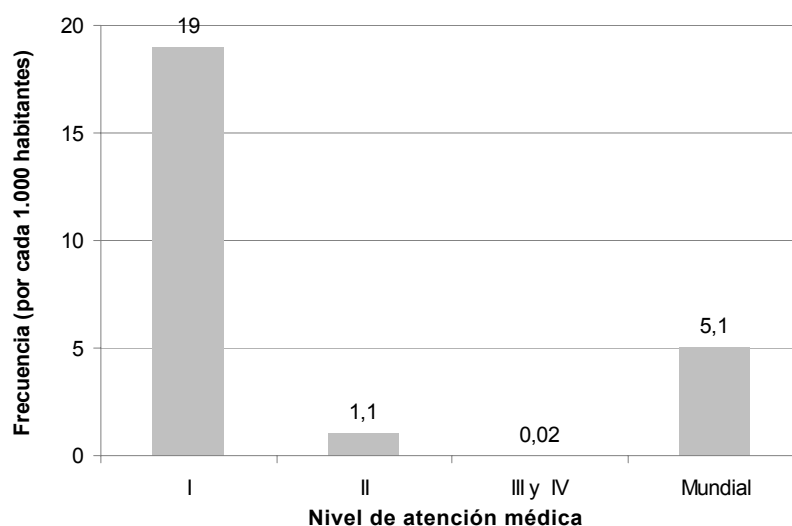


Medicina nuclear

42. Se calcula que todos los años se realizan en el mundo 32,7 millones de exámenes de diagnóstico de medicina nuclear, lo que representa un aumento de 0,2 millones de exámenes al año, es decir, menos del 1% desde que se realizó el estudio correspondiente al período 1991-1996. Durante ese mismo período, la dosis efectiva colectiva debida a los exámenes de medicina nuclear aumentó de 150.000 a 202.000 hombre-Sv, lo que representa un aumento de 52.000 hombre-Sv, es decir, alrededor del 35%. Las personas que viven en los países del nivel I de atención médica representan alrededor del 90% de todos los exámenes de medicina nuclear. En la figura V se presenta un resumen de las frecuencias anuales correspondientes al período 1997-2007 de los exámenes de medicina nuclear de diagnóstico por nivel de atención médica.

Figura V

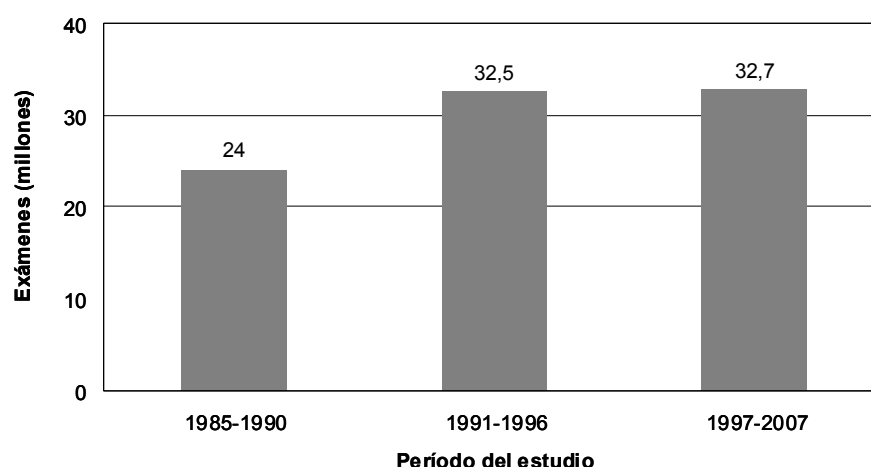
Frecuencia anual de los exámenes de diagnóstico de medicina nuclear, por nivel de atención médica, 1997-2007



43. El número estimado de exámenes de diagnóstico de medicina nuclear realizados cada año ha aumentado en los períodos abarcados por los tres últimos estudios (1985-1990, 1991-1996 y 1997-2007), como se muestra en la figura VI.

Figura VI

Número estimado de exámenes de diagnóstico de medicina nuclear realizados anualmente, 1985-1990, 1991-1996 y 1997-2007



Radioterapia

44. En el Cuadro 3 se presentan estimaciones anuales relativas a los tipos de tratamiento de radioterapia más comunes por cada nivel de atención médica. Como se puede observar, los países del nivel I representaron alrededor del 70% de todos los tratamientos de radioterapia. Se calcula que cada año entre 1997 y 2007 se aplicaron 5,1 millones de tratamientos de radioterapia, lo que representa un aumento respecto de la cifra estimada de 4,3 millones en 1988. Alrededor de 4,7 millones de esos tratamientos consistieron en teleterapia y 0,4 millones, en braquiterapia.

Cuadro 3

Estimaciones anuales relativas a los tratamientos de radioterapia en el mundo^a, 1997-2007

Nivel de atención médica	Población (millones)	Teleterapia		Braquiterapia ^b		Radioterapia	
		Tratamientos aplicados cada año (millones)	Tratamientos aplicados por cada 1.000 habitantes	Tratamientos aplicados cada año (millones)	Tratamientos aplicados por cada 1.000 habitantes	Tratamientos aplicados cada año (millones)	Tratamientos aplicados por cada 1.000 habitantes
I	1 540	3,5	2,2	0,18	0,12	3,6	2,4
II	3 153	1,2	0,4	0,20	0,06	1,4	0,4
III	1 009	0,06	0,06	(<0,05) ^c	(<0,01) ^c	0,1	0,06
IV	744	(0,03) ^c	(<0,01) ^c	(<0,01) ^c	(<0,005) ^c	(0,03) ^c	(0,01) ^c
Mundial ^d	6 446	4,7	0,73	0,4	0,07	5,1	0,8

Fuente: Estudio del Comité sobre los usos de las radiaciones y la exposición a éstas en la práctica médica, 1997-2007.

^a Tratamiento completo.

^b Se excluyen los tratamientos con radiofármacos.

^c Valor hipotético en ausencia de datos.

^d Las cifras mundiales incluyen a varios países no representados en los niveles I a IV.

Resumen

45. En el cuadro 4 se resume la dosis efectiva colectiva anual estimada de radiación ionizante debida a la exposición médica a las radiaciones en el período 1997-2007. Casi el 75% de la dosis efectiva colectiva mundial debida a la exposición médica a las radiaciones se concentra en los países del nivel I de atención médica.

Cuadro 4

Estimación de la dosis efectiva colectiva anual de radiación ionizante debida a la exposición médica a las radiaciones, 1997-2007

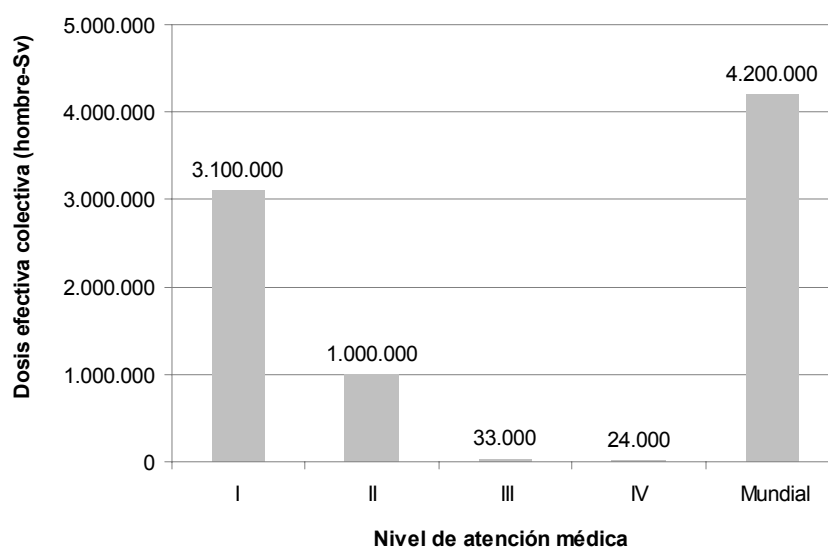
(Los totales pueden no ser exactos debido al redondeo de las cifras)

Nivel de atención médica	Población (millones)	Fuente de exposición			Total (hombre-Sv)
		Exámenes médicos de diagnóstico (hombre-Sv)	Exámenes odontológicos de rayos X (hombre-Sv)	Exámenes de medicina nuclear (hombre-Sv)	
I	1 540	2 900 000	9 900	186 000	3 100 000
II	3 153	1 000 000	1 300	16 000	1 000 000
III	1 009	33 000	51	82	33 000
IV	744	24 000	38	..	24 000
Mundial	6 446	4 000 000	11 000	202 000	4 200 000

46. La exposición médica a las radiaciones sigue siendo por un amplio margen la más importante fuente artificial de exposición a la radiación ionizante y sigue aumentando a un ritmo sorprendente. La exposición médica representa el 98% de la contribución de todas las fuentes artificiales y en la actualidad constituye la segunda contribución más importante a la dosis que recibe la población de todo el mundo, con un valor de aproximadamente el 20% del total. Durante el período abarcado por el estudio se realizaron alrededor de 3.600 millones de intervenciones de irradiación médica al año, en comparación con 2.500 millones registrados en el período de estudio anterior, lo que representa un aumento de 1.100 millones, es decir, poco más del 40%, en el último decenio. La dosis efectiva colectiva anual total debida a la exposición médica a las radiaciones (con exclusión de la radioterapia) fue de aproximadamente 4,2 millones hombre-Sv, lo que equivale a un aumento de 1,7 millones hombre-Sv (poco más del 65%) respecto del período anterior. La distribución de las intervenciones médicas y de las dosis (véase la figura VII) presenta grandes disparidades entre los grupos de países.

Figura VII

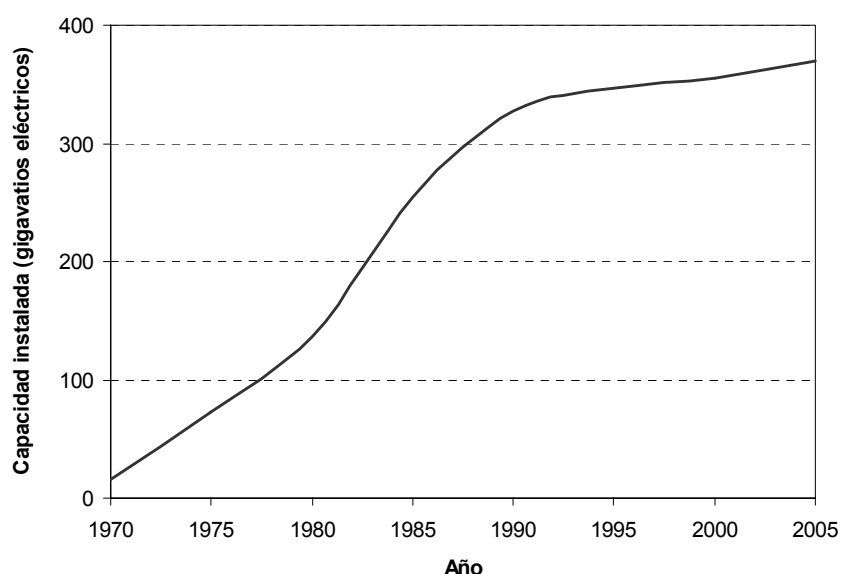
Dosis efectiva colectiva anual total debida a la exposición médica a las radiaciones (con exclusión de la radioterapia)



ii) Exposición de la población general a las radiaciones

47. La producción de energía eléctrica a partir de centrales nucleares ha crecido de manera constante desde que surgió la industria en 1956. Aunque se ha registrado un aumento en la retirada de servicio de los reactores más antiguos, la producción de energía eléctrica sigue creciendo (véase la figura VIII). El ciclo del combustible nuclear comprende las etapas siguientes: la extracción y tratamiento del uranio y su conversión en combustible nuclear, la fabricación de elementos combustibles, la producción de energía en una central nuclear, el almacenamiento o reelaboración del combustible irradiado, el transporte entre las diversas etapas y el almacenamiento y eliminación de los desechos radiactivos. Las dosis de radiación ionizante recibidas por las personas expuestas varían ampliamente de un tipo de instalación a otra, entre los distintos emplazamientos y en dependencia del tiempo de exposición.

Figura VIII

Capacidad instalada de producción de electricidad nuclear en todo el mundo, 1970-2005

48. La extracción y el tratamiento del uranio producen cantidades sustanciales de residuos en forma de desechos de tratamiento o colas. Hasta 2003, la producción mundial total de uranio fue de unos 2 millones de toneladas, mientras que los desechos de tratamiento llegaron a más de 2.000 millones de toneladas. En la actualidad, las pilas de desechos se mantienen adecuadamente, aunque existen muchos antiguos emplazamientos abandonados y sólo en unos pocos de ellos se han adoptado las medidas correctivas correspondientes. El Comité calcula que la actual dosis colectiva anual de radiación ionizante recibida por los grupos de población locales y regionales en las inmediaciones de los sitios mineros, las instalaciones de tratamiento y las pilas de desechos oscila aproximadamente entre 50 y 60 hombre-Sv, un valor similar al de sus estimaciones anteriores.

49. La mayoría de los reactores de potencia son del tipo moderado y refrigerado por agua ligera, aunque en algunos países se utilizan otros diseños. En la actualidad se calcula que la dosis colectiva anual media de radiación ionizante recibida por los grupos de población locales y regionales (combinados) a causa de las descargas de los reactores en el medio ambiente es de 75 hombre-Sv. Este valor es inferior al de estimaciones anteriores.

50. En el ciclo del combustible nuclear, el combustible gastado se reelabora con la finalidad de recuperar uranio y plutonio y utilizarlos de nuevo en los reactores. Casi todo el combustible gastado se mantiene en almacenamiento provisional, aunque sólo se ha reelaborado alrededor de una tercera parte del producido hasta ahora. La estimación de la dosis colectiva anual de radiación ionizante debida a la reelaboración sigue oscilando entre 20 y 30 hombre-Sv.

51. En la actualidad, los desechos de actividad baja y una parte de los desechos de actividad intermedia generados por las operaciones del ciclo del combustible se

eliminan en instalaciones de disposición final cerca de la superficie, aunque antes algunos desechos se vertieron al mar. Tanto los desechos de actividad alta generados por la reelaboración como el combustible agotado (no reelaborado) se almacenan pero a la larga deberán eliminarse. Se prevé que, en todo caso, sólo en el futuro lejano la población quedaría expuesta a la radiactividad del material sometido a disposición final, por lo que la evaluación del impacto radiológico debe basarse en modelos matemáticos. En general, se calcula que la dosis colectiva anual debida a todas las operaciones relacionadas con la producción de energía eléctrica es de alrededor de 200 hombre-Sv. El principal componente de esas operaciones es la extracción del mineral. La dosis anual por persona recibida por poblaciones locales y regionales representativas en las inmediaciones de las centrales nucleares es inferior a 0,0001 mSv (aproximadamente el equivalente de la dosis recibida por la radiación cósmica en apenas unos minutos de viaje aéreo).

52. En el mundo existen diversos tipos de instalaciones que, aunque no guardan relación con la utilización de la energía nuclear, pueden dar lugar a la exposición de la población debido a las mayores concentraciones de radionúclidos naturales presentes en sus productos, derivados y desechos industriales. De esas instalaciones las más importantes están relacionadas con la extracción y el tratamiento de minerales. Además, las personas también pueden quedar expuestas a la radiación ionizante a causa de materiales radiactivos naturales vinculados a diversas prácticas humanas normales, como la utilización agrícola del lodo proveniente del tratamiento de las aguas o el aprovechamiento de residuos como material de descarga o de construcción. Aunque las dosis que recibe la población son bajas, en el orden de menos de varias milésimas de milisievert, algunos grupos especialmente vulnerables podrían recibir dosis que se acerquen a 1 mSv. En estos momentos se trabaja arduamente en los planos nacional e internacional para evaluar la exposición al material radiactivo natural y elaborar estrategias que permitan enfrentar situaciones que aumentan la exposición a las radiaciones.

iii) Exposición de los trabajadores a las radiaciones

53. Hasta el decenio de 1990, la atención dirigida a la exposición profesional se centraba no sólo en las prácticas relacionadas con el ciclo del combustible nuclear, sino también en las fuentes de radiación artificiales. Sin embargo, en la actualidad se comprende que un gran número de trabajadores se ven profesionalmente expuestos también a fuentes de radiación naturales y la actual estimación de la dosis colectiva recibida de esas fuentes es unas tres veces superior a la reflejada en el informe del Comité correspondiente a 2000. Se calcula que el total de trabajadores expuestos a la radiación ionizante se eleva a unos 22,8 millones, de los cuales alrededor de 13 millones están expuestos a fuentes de radiación naturales y unos 9,8 millones están expuestos a fuentes de radiación artificiales. Los trabajadores del sector de la medicina representan la mayor proporción (75%) de los trabajadores expuestos a las fuentes de radiación artificiales.

54. La exposición a las radiaciones de los trabajadores que participan en actividades militares es consecuencia de la producción y el ensayo de armas, la explotación de reactores para la propulsión de buques y otros usos similares a los del sector civil. El Comité calcula que la media anual de la dosis colectiva mundial de radiación ionizante debida a esas fuentes oscilaba entre unos 50 y 150 hombre-Sv y que la dosis anual media recibida por los trabajadores oscilaba aproximadamente

entre 0,1 y 0,2 mSv. No obstante, existe un alto nivel de incertidumbre en esa estimación.

55. La extracción y tratamiento de minerales radiactivos que pueden contener importantes niveles de radionúclidos naturales es una actividad difundida. La gran mayoría de los trabajadores expuestos profesionalmente a las radiaciones se concentra en la minería, y el radón es la principal fuente de exposición a las radiaciones en las minas subterráneas de todo tipo. En el cuadro 5 se resume la exposición al radón en el lugar del trabajo.

Cuadro 5

Exposición al radón en el lugar de trabajo

<i>Lugar de trabajo</i>	<i>Número de trabajadores (millones)</i>	<i>Dosis colectiva (hombre-Sv)</i>	<i>Dosis efectiva media (mSv)</i>
Minas de carbón	6,9	16 560	2,4
Otras minas ^a	4,6	13 800	3,0
Otros lugares de trabajo	1,25	6 000	4,8
		Media ponderada	2,9

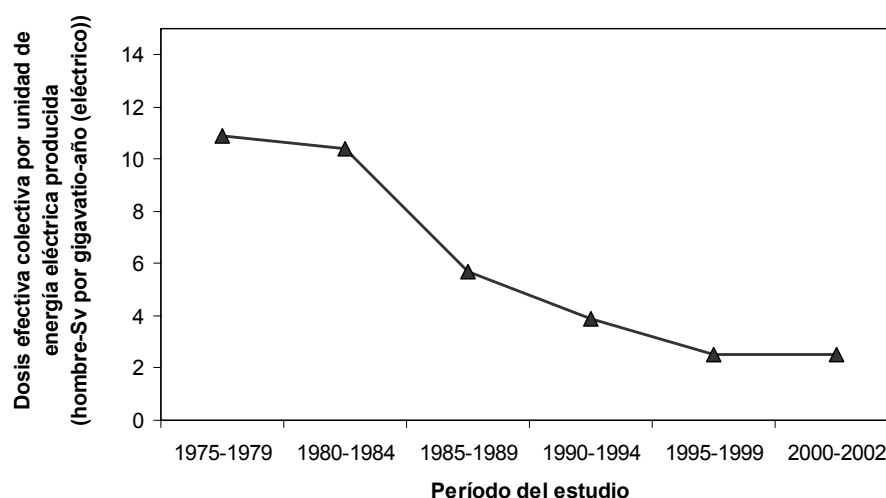
^a Se excluyen las minas de uranio.

56. La dosis colectiva anual de radiación ionizante recibida por los miembros de las tripulaciones de las líneas aéreas es de alrededor de 900 hombre-Sv. La dosis efectiva media anual estimada se sitúa entre 2 y 3 mSv. También ha sido posible realizar mediciones de las dosis recibidas en varias misiones espaciales. Las dosis comunicadas respecto de misiones espaciales de corta duración oscilaron entre 1,9 mSv y 27 mSv.

57. Se calcula que la dosis colectiva anual de radiación ionizante recibida por los trabajadores que intervienen en el ciclo del combustible nuclear es de alrededor de 800 hombre-Sv. En lo que respecta al ciclo del combustible en general, la dosis efectiva anual media es de alrededor de 1,0 mSv. La dosis anual media de los trabajadores estudiados en el ciclo del combustible nuclear ha venido disminuyendo gradualmente desde 1975, de 4,4 mSv a 1,0 mSv en la actualidad. Ello se debe en gran medida a la reducción significativa de la extracción del uranio y la adopción de técnicas de minería más avanzadas; al mismo tiempo, la exposición profesional total en las centrales nucleares comerciales dividida por la energía producida también ha disminuido constantemente durante los últimos tres decenios (véase la figura IX).

Figura IX

Dosis colectiva profesional anual de radiación ionizante en los reactores, normalizada por unidad de energía eléctrica producida, 1975-2002



58. Entre 1975 y 1989, el promedio de la dosis efectiva colectiva anual por quinquenio de todas las operaciones del ciclo del combustible nuclear reflejó poca variación respecto del valor promedio de 2.500 hombre-Sv, aunque la energía eléctrica producida por medios nucleares aumentó tres o cuatro veces. La energía producida sigue en aumento, aunque la dosis efectiva colectiva anual media ha disminuido en casi un 50%, de 1.400 hombre-Sv en 1990–1994 a 800 hombre-Sv en 2000–2002.

59. Se calcula que la dosis colectiva anual recibida por los trabajadores vinculados con los usos médicos de las radiaciones es de alrededor de 3.540 hombre-Sv, mientras que la dosis efectiva anual media es de unos 0,5 mSv. La dosis anual media recibida por los trabajadores estudiados vinculados con los usos médicos de las radiaciones aumentó en un factor de 1,7 de 1994 a 2002. Sin embargo, los trabajadores vinculados con procedimientos de intervención tienen dosis efectivas elevadas, y las dosis extremas pueden llegar a los límites reglamentarios. La cantidad de procedimientos intervencionistas ha aumentado significativamente. El número de trabajadores vinculados a los usos médicos de las radiaciones aumentó en un factor de siete en el período de 1975 a 2002, y se calcula que en 2002 se elevaba a unos 7,4 millones.

60. Se calcula que la dosis colectiva anual recibida por los trabajadores vinculados a los usos industriales de las radiaciones es de alrededor de 289 hombre-Sv y la dosis efectiva anual media es de aproximadamente 0,3 mSv. Estos valores constituyen una disminución respecto de los 1,6 mSv registrados en 1975. El número de trabajadores vinculados a los usos industriales de las radiaciones aumentó en un factor de 1,6 en el período de 1975 a 2002; se calcula que en 2002 ese número alcanzaba aproximadamente los 0,9 millones.

61. En el cuadro 6 se presentan las tendencias de la dosis efectiva profesional media anual de radiación ionizante correspondiente a los períodos 1980-1984,

1990-1994 y 2000-2002. Como se puede observar, la dosis efectiva media disminuyó en todas las categorías de exposición a fuentes artificiales; la pronunciada disminución de la dosis respecto del ciclo del combustible nuclear se debe fundamentalmente a los cambios ocurridos en la extracción del uranio. Sin embargo, la dosis efectiva media ponderada general aumentó debido a una mayor exposición a fuentes de radiación naturales.

Cuadro 6

Tendencias de la dosis efectiva profesional anual media de radiación ionizante, 1980-1984, 1990-1994 y 2000-2002
(Milisievert)

<i>Fuente de exposición</i>	<i>1980-1984</i>	<i>1990-1994</i>	<i>2000-2002</i>
Fuentes naturales	..	1,8	2,9
Actividades militares	0,7	0,2	0,1
Ciclo del combustible nuclear	3,7	1,8	1,0
Usos médicos	0,6	0,3	0,5
Usos industriales	1,4	0,5	0,3
Varias	0,3	0,1	0,1
Media ponderada	1,3	0,8	1,8

c) Exposición debida a accidentes

62. Los efectos agudos inmediatos de la exposición a las radiaciones se producen sólo a consecuencia de accidentes (o actos intencionales). Algunos accidentes graves han dado lugar a importantes niveles de exposición de la población debido a la dispersión de material radiactivo en el medio ambiente. En varios de sus informes, incluidas algunas evaluaciones concretas del accidente de Chernobyl, el Comité ha examinado la exposición a las radiaciones debida a accidentes. El Comité ha categorizado y resumido los accidentes radiológicos notificados que han dado lugar a efectos sanitarios agudos inmediatos, muertes o importantes niveles de contaminación ambiental en los últimos 60 años.

63. Entre los accidentes relacionados con el ciclo del combustible nuclear figura un pequeño número de accidentes graves que recibieron amplia divulgación y cuyas consecuencias se comunicaron de manera detallada. Entre 1945 y 2007 se produjeron 38 accidentes radiológicos graves en instalaciones nucleares, de los cuales 26 tuvieron lugar en instalaciones relacionadas con programas de armas nucleares. Del total de 38, 34 produjeron muertes y lesiones entre los empleados y siete provocaron emisiones de material radiactivo fuera del emplazamiento e importantes niveles de exposición de la población. Con exclusión del accidente ocurrido en Chernobyl en 1986 (que se analiza en la sección B *infra*), se sabe que han ocurrido 29 muertes (incluso cuatro a causa de traumas) y 68 casos de radiolesiones que exigieron atención médica como consecuencia de accidentes relacionados con el ciclo del combustible nuclear.

64. En la industria (instalaciones de irradiación industriales o aceleradores) se utilizan ampliamente grandes fuentes de radiación que han estado relacionadas con

varios accidentes, por lo general atribuibles al error humano. Los 85 accidentes comprendidos en el análisis del presente informe ocasionaron niveles de exposición suficientes para producir radiolesiones en los trabajadores. En relación con esos accidentes se notificaron 25 muertes y lesiones en otros 164 trabajadores.

65. Las fuentes huérfanas son fuentes radiactivas que, si bien originalmente estuvieron sujetas a controles de reglamentación, después quedaron abandonadas, desaparecieron o fueron robadas. Los 29 accidentes graves notificados en relación con fuentes huérfanas provocaron radiolesiones a la población; en esos accidentes murieron 33 personas en total, incluidos varios niños. En el accidente ocurrido en Goiânia (Brasil) en 1987, varios cientos de personas resultaron contaminadas.

66. En la medicina radiológica, los accidentes suelen deberse a errores cometidos en la aplicación de la radioterapia que con frecuencia se descubren sólo después de que muchos pacientes han recibido una exposición excesiva. El Comité ha examinado sólo 29 accidentes notificados desde 1967, con un resultado de 45 muertes y 613 lesiones. Es probable que no se hayan comunicado algunas muertes y muchas lesiones debidas a los usos médicos de las radiaciones. No obstante, los accidentes notificados solamente parecen haber ocasionado lesiones en más personas que los de cualquier otra categoría.

67. De los accidentes que provocaron la exposición de la población general a la radiación ionizante, el accidente ocurrido en Chernobyl de 1986 sigue siendo el más importante por amplio margen. La dosis colectiva recibida a causa de ese accidente fue muchas veces superior a la dosis colectiva combinada debida a todos los demás accidentes juntos que provocaron la exposición de la población general a las radiaciones.

68. Las tendencias de esos accidentes varían considerablemente. Los accidentes de criticidad fueron más comunes durante los períodos iniciales de los programas de armas nucleares. Los sucesos operacionales relacionados con el ciclo del combustible nuclear son esporádicos. Los accidentes en la industria y en los establecimientos académicos o de investigaciones parecen haber alcanzado su punto máximo a finales del decenio de 1970 y luego han disminuido hasta llegar a apenas unos casos aislados en la industria desde 2000. Como resultado del intenso transporte de materiales radiactivos que durante muchos años viene teniendo lugar últimamente en todo el mundo con fines no militares no se ha producido ninguna radiolesión. Aunque en períodos recientes se han incrementado los accidentes con fuentes huérfanas y otros relacionados con los usos médicos de las radiaciones, es posible que los datos conexos sean incompletos.

d) Comparación entre distintas exposiciones a las radiaciones

69. Aunque resulta evidente a partir de los datos presentados que las dosis varían notablemente en dependencia del lugar, el grupo, el nivel de atención médica y otros factores, es útil y habitual hacer un resumen global de los resultados (véase el cuadro 1 *supra*). La exposición a la radiación natural no cambia de manera significativa con el tiempo, aunque cada exposición, en particular al radón, puede variar mucho. Uno de los cambios más llamativos que se han producido en aproximadamente los últimos diez años ha sido el abrupto aumento de la exposición médica a las radiaciones, por ejemplo debido al rápido aumento de los exámenes de tomografía computadorizada. En varios países esto ha hecho que la exposición

médica a las radiaciones pase a ser el principal componente general, desplazando a la exposición debida a fuentes de radiación naturales. Las dosis residuales recibidas a causa de los ensayos en la atmósfera y del accidente de Chernobyl siguen disminuyendo lentamente. Aunque la exposición profesional es baja cuando se promedia con toda la población, el nivel estimado ha aumentado notablemente debido al reconocimiento de la exposición a radionúclidos naturales en la minería. Las dosis debidas al ciclo del combustible nuclear siguen siendo muy bajas pese a la gradual expansión de ese sector.

B. El accidente de Chernobyl

70. El accidente ocurrido en 1986 en la central nuclear de Chernobyl, en la antigua Unión Soviética, ha sido el más grave de ese tipo en la historia de la utilización de la energía nuclear con fines civiles. Dos trabajadores murieron inmediatamente después del accidente y 134 miembros del personal de la central y del personal de emergencia padecieron el síndrome de radiación aguda, que culminó en la muerte de 28 de ellos. Posteriormente, varios cientos de miles de trabajadores participaron en las actividades de recuperación.

71. El accidente provocó la mayor emisión radiactiva incontrolada al medio ambiente jamás registrada por las actividades civiles; en unos diez días se liberaron en la atmósfera grandes cantidades de sustancias radiactivas. La nube radiactiva provocada por el accidente se dispersó sobre todo el hemisferio septentrional y depositó una gran cantidad de material radiactivo sobre extensas zonas de la antigua Unión Soviética y otras partes de Europa, contaminando la tierra, el agua y la biota y ocasionando trastornos sociales y económicos particularmente graves a grandes sectores de la población de los países que hoy se conocen como Belarús, la Federación de Rusia y Ucrania. Dos radionúclidos, el yodo 131 de período corto (con un período de semidesintegración de ocho días) y el cesio 137 de período largo (con un período de semidesintegración de 30 años), revistieron particular importancia debido a la dosis de radiación que provocaron en la población. Sin embargo, las dosis recibidas fueron muy diferentes entre ambos radionúclidos, ya que las dosis tiroideas debidas al yodo 131 llegaron a varios gray en pocas semanas después del accidente, mientras que el cesio 137 provocó dosis corporales de hasta varios cientos de milisievert durante los años posteriores.

72. En la antigua Unión Soviética, la contaminación de la leche fresca con yodo 131 y la no adopción de medidas inmediatas dieron lugar a altas dosis tiroideas, en particular en los niños. A más largo plazo, sobre todo debido al radiocesio, la población general también quedó expuesta a las radiaciones, tanto externamente debido a depósitos radiactivos como internamente por el consumo de alimentos contaminados. No obstante, las consiguientes dosis de radiación a largo plazo fueron relativamente bajas (la dosis adicional media en el período de 1986 a 2005 en las “zonas contaminadas”¹² de Belarús, la Federación de Rusia y Ucrania fue de 9 mSv, es decir, un valor aproximadamente equivalente al de la dosis provocada por un examen médico de tomografía computadorizada) y no debería producir efectos sanitarios notables en la población general que pudieran atribuirse

¹² Las “zonas contaminadas” fueron definidas arbitrariamente por la antigua Unión Soviética como las zonas en que los niveles de cesio 137 en el suelo eran superiores a 37 kilobecquerelios por metro cuadrado.

a las radiaciones. No obstante, los graves trastornos provocados por el accidente tuvieron importantes consecuencias sociales y económicas y ocasionaron gran sufrimiento a las poblaciones afectadas.

73. Desde que ocurrió el accidente, la comunidad internacional ha realizado esfuerzos sin precedentes para evaluar la magnitud y las características de sus efectos sanitarios relacionados con las radiaciones. Muchas iniciativas, en particular las emprendidas por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Comisión Europea, estuvieron destinadas a ayudar a comprender mejor las consecuencias del accidente y contribuir a su mitigación. Los resultados de esas iniciativas se resumieron en una conferencia internacional dedicada al tema titulado “Una década después de Chernobyl: Recapitulación de las consecuencias radiológicas del accidente”, que se celebró en Viena del 8 al 12 de abril de 1996. La conferencia fue patrocinada conjuntamente por la OMS, el OIEA y la Comisión Europea, en cooperación con las Naciones Unidas, la UNESCO, el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y la Agencia para la Energía Nuclear de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos. En las evaluaciones científicas internacionales se llegó a conclusiones similares en términos generales respecto de la magnitud y el carácter de las consecuencias del accidente.

74. El Comité examinó por primera vez las consecuencias radiológicas iniciales del accidente en su informe correspondiente a 1988¹³. En su informe de 2000, el Comité describió detalladamente la situación según se conocía en ese momento. Después de publicado ese informe, ocho organizaciones y organismos del sistema de las Naciones Unidas¹⁴ (incluido el Comité) y los tres Estados afectados pusieron en marcha el Foro sobre Chernobyl con la finalidad de generar declaraciones de consenso autorizadas sobre las consecuencias sanitarias y medioambientales atribuibles a la exposición a las radiaciones y brindar asesoramiento sobre cuestiones tales como la reparación del medio ambiente, la ejecución de programas especiales de atención médica y la realización de actividades de investigación. La labor del Foro sobre Chernobyl fue valorada en una conferencia internacional sobre el tema titulado “Chernobyl: Mirar atrás para avanzar, en pos de un consenso de las Naciones Unidas sobre los efectos del accidente y el futuro”, que se celebró en Viena los días 6 y 7 de septiembre de 2005. En esa conferencia se corroboraron en lo fundamental todas las evaluaciones anteriores de la magnitud y el carácter de las consecuencias sanitarias del accidente debidas a las radiaciones.

75. El objetivo que persigue el Comité en la presente evaluación es realizar un examen autorizado y definitivo de los efectos sanitarios observados hasta la fecha que pueden atribuirse a la exposición a las radiaciones como consecuencia del accidente y esclarecer las proyecciones de los efectos potenciales, teniendo en

¹³ *Documentos Oficiales de la Asamblea General, cuadragésimo tercer período de sesiones, Suplemento N° 45 (A/43/45).*

¹⁴ El PNUMA, la Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios de la Secretaría, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas, la FAO, la OMS, el Banco Mundial y el OIEA.

cuenta los niveles, las tendencias y las pautas de las dosis de radiación de las poblaciones expuestas. Con ese fin, el Comité evaluó la nueva información pertinente de que se dispone desde que publicó su informe de 2000 y se cercioró de que las observaciones son coherentes con las hipótesis aplicadas anteriormente para evaluar las consecuencias radiológicas. También reconoció que algunos detalles pendientes merecían ser examinados más a fondo y que era preciso continuar su labor dirigida a sentar bases científicas para comprender mejor los efectos sanitarios y medioambientales del accidente relacionados con las radiaciones.

76. Si bien en estos momentos se dispone de un considerable volumen de nuevos datos de investigación, las principales conclusiones respecto de la magnitud y la naturaleza de las consecuencias sanitarias del accidente de Chernobyl son, en lo fundamental, coherentes con lo planteado en los informes del Comité correspondientes a 1988 y 2000. Esas conclusiones son las siguientes:

a) Un total de 134 trabajadores de la central y de emergencia recibieron altas dosis de radiación que les hizo padecer del síndrome de radiación aguda, muchos de ellos también sufrieron lesiones en la piel a causa de la irradiación beta;

b) Las altas dosis de radiación provocaron la muerte de 28 de esas personas en los primeros meses posteriores al accidente;

c) Aunque en 2006 habían muerto 19 sobrevivientes del síndrome de radiación aguda, esas muertes se debieron a distintas causas que normalmente no se vincularon con la exposición a las radiaciones;

d) Entre las principales secuelas padecidas por los sobrevivientes del síndrome de radiación aguda figuraron las lesiones en la piel y las cataratas relacionadas con las radiaciones;

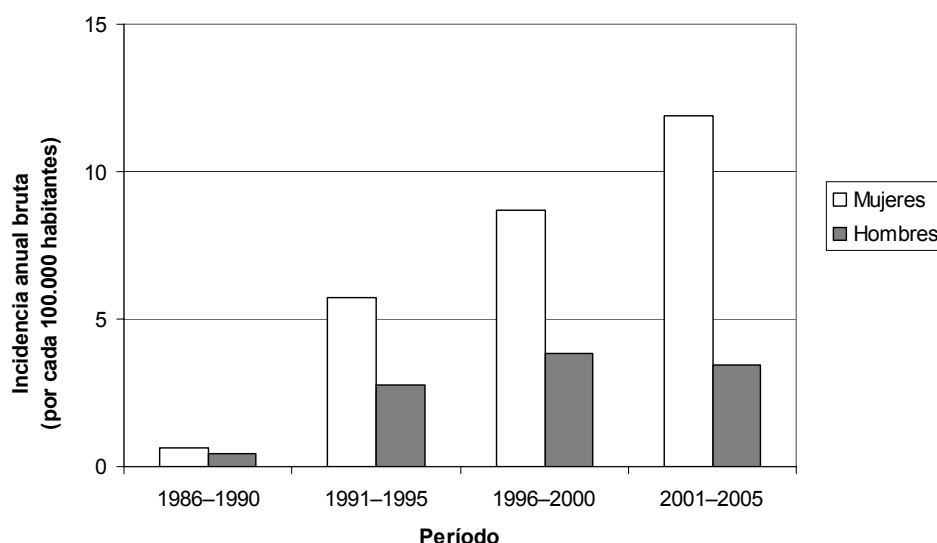
e) Además de los trabajadores de emergencia, varios cientos de miles de personas participaron en las operaciones de recuperación pero, aparte de las señales de aumento de la incidencia de leucemia y catarata en las personas que recibieron las dosis más elevadas, en la actualidad no existen pruebas firmes de efectos sanitarios que puedan atribuirse a la exposición a las radiaciones;

f) En Belarús, Ucrania y cuatro de las regiones más afectadas de la Federación de Rusia se ha observado un notable aumento de la incidencia del cáncer del tiroides en personas que siendo niños o adolescentes en 1986 estuvieron expuestas a la radiación provocada por el accidente. Respecto del período 1991-2005, se comunicaron más de 6.000 casos, de los cuales una importante proporción podría atribuirse al consumo en 1986 de leche contaminada con yodo 131. Aunque la incidencia del cáncer del tiroides sigue aumentando en ese grupo (véase en la figura X la tendencia registrada en Belarús), hasta 2005 sólo 15 de esos casos habían sido mortales;

g) En cuanto a la población general, hasta la fecha no existen pruebas firmes de ningún otro efecto sanitario que pueda atribuirse a la exposición a las radiaciones.

Figura X

Incidencia del cáncer del tiroides en habitantes de Belarús que eran niños o adolescentes en el momento del accidente de Chernobyl, 1986-1990, 1991-1995, 1996-2000 y 2001-2005



77. Aunque se han publicado predicciones basadas en modelos en relación con posibles aumentos de la incidencia del cáncer sólido en la población general, en todos los grupos de población estudiados las dosis son relativamente bajas y comparables con las dosis debidas a la exposición a la radiación de fondo natural. El Comité ha decidido no utilizar modelos para proyectar cifras absolutas sobre los efectos padecidos por las poblaciones expuestas a dosis bajas debido a incertidumbres inaceptables en las predicciones. Sin embargo, el Comité considera que es conveniente proseguir la labor de vigilancia.

78. Teniendo en cuenta los estudios realizados durante 20 años, es posible corroborar las conclusiones a que arribó el Comité en su informe de 2000. En lo fundamental, las personas que siendo niños estuvieron expuestas al radioyodo a causa del accidente de Chernobyl y los trabajadores que participaron en las actividades de emergencia y recuperación y que recibieron altas dosis de radiación corren mayores riesgos de sufrir efectos inducidos por las radiaciones. La mayoría de los residentes de la zona quedaron expuestos a una radiación de actividad baja comparable a los niveles de radiación de fondo natural anual, o varias veces superior a éstos, y no tienen que vivir temiendo sufrir consecuencias sanitarias graves.

79. El Comité considera que su evaluación más reciente es un importante punto de referencia para el Coordinador de las Naciones Unidas de la Cooperación Internacional para Chernobyl respecto de la petición que le formuló la Asamblea General en el párrafo 16 de su resolución 62/9, de 20 de noviembre de 2007, de que, en colaboración con los Gobiernos de Belarús, la Federación de Rusia y Ucrania, continuara la labor de organización de un estudio de las consecuencias sanitarias, medioambientales y socioeconómicas del desastre de Chernobyl, de conformidad

con las recomendaciones del Foro sobre Chernobyl, y mejorara el suministro de información a la población local.

C. Efectos en la biota no humana

80. Todas las especies presentes en la Tierra han existido y evolucionado en un medio ambiente que las ha mantenido expuestas a la radiación ionizante de fondo natural. Sin embargo, más recientemente los organismos también se ven expuestos a fuentes de radiación artificiales, como la precipitación mundial provocada por los ensayos de armas nucleares en la atmósfera y, en determinados lugares, las emisiones controladas de radionúclidos o las emisiones accidentales de material radiactivo.

81. En su informe correspondiente a 1996¹⁵, el Comité evaluó las dosis y tasas de dosis de radiación ionizante por debajo de las cuales era poco probable que sufrieran efectos las poblaciones de la biota no humana. Consideró que las distintas respuestas a la exposición a las radiaciones que podrían ser apreciables a nivel de población eran las relativas a la mortalidad, la fertilidad, la fecundidad y la inducción de mutaciones. El Comité también consideró que los cambios reproductivos eran un indicador más sensible de los efectos de las radiaciones que la mortalidad, y que los mamíferos eran los organismos animales más sensibles. Sobre esa base, el Comité calculó las tasas de dosis de los individuos más expuestos que probablemente no producirían efectos de importancia en la mayoría de las poblaciones.

82. Desde entonces se han realizado observaciones complementarias de la biota no humana en las inmediaciones del emplazamiento de Chernobyl que han arrojado nuevos datos sobre los efectos de la radiación ionizante. Diversas organizaciones han llevado a cabo estudios amplios de la bibliografía científica y, en algunos casos, han elaborado nuevos criterios de evaluación de los posibles efectos en la biota no humana. En la bibliografía se presentan muy diversos puntos finales y los correspondientes niveles de efectos, y también varía mucho la manera en que los distintos investigadores evalúan esos datos. En el cuadro 7 se presenta un breve resumen de los datos pertinentes de categorías generales de organismos.

¹⁵ *Documentos Oficiales de la Asamblea General, quincuagésimo primer período de sesiones, Suplemento N° 46 (A/51/46).*

Cuadro 7

Algunos efectos de la radiación ionizante en determinadas categorías de la biota no humana

<i>Tasa de dosis crónica (miligray por hora)</i>	<i>Categoría</i>	<i>Efecto</i>	<i>Punto final</i>
0,1 – 1	Plantas	Muerte de las agujas de pino: disminución del número de plantas herbáceas	Mortalidad, morbosidad
	Peces	Reducción de la producción de esperma, atraso en el desove	Afectación de las funciones reproductivas
alrededor de 0,1	Mamíferos	No se describen puntos finales perjudiciales	Morbosidad, mortalidad, afectación de las funciones reproductivas

83. El Comité llegó a la conclusión de que, en sentido general, no había pruebas que justificaran modificar las conclusiones recogidas en su informe de 1996, según las cuales sería poco probable que las tasas de dosis crónica de menos de 0,1 miligray por hora de los individuos más expuestos tuvieran efectos significativos sobre la mayoría de las comunidades terrestres y que las tasas de dosis crónica de menos de 0,4 miligray por hora de cualquier individuo de las poblaciones de organismos acuáticos tuvieran efectos perjudiciales a nivel de población. En cuanto a las dosis agudas, los estudios relativos al accidente de Chernobyl habían confirmado que era poco probable que dosis inferiores a un gray tuvieran efectos significativos en las poblaciones de la biota no humana.

84. Desde que se publicó el informe del Comité correspondiente a 1996 se ha trabajado arduamente para investigar y perfeccionar los datos y métodos de evaluación de las vías por las que la biota queda expuesta a las radiaciones en su medio ambiente; asimismo, se han introducido muchas mejoras en la evaluación de las dosis recibidas por la biota. Es importante señalar que todavía existen muchas oportunidades de mejorar los conocimientos actuales y los métodos aplicados en esas esferas. La profundización del conocimiento sobre esos aspectos mejorará la comprensión general de la relación entre los niveles de radiación y radiactividad en el medio ambiente y sus posibles efectos en la biota.

Apéndice I

Miembros de las delegaciones nacionales que asistieron a los períodos de sesiones 50° a 56° del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas, en los cuales se elaboró el informe científico de 2008

Alemania	W. Weiss (Representante), A. Friedl, P. Jacob, A. Kellerer, J. Kiefer, G. Kirchner, W. Köhnlein, R. Michel, W. U. Müller, C. Streffer (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	H. Vanmarcke (Representante), H. Bosmans, A. Debauche, H. Engels, J. Lembrechts, J. R. Maisin (Representante), P. Smeesters, J. M. Van Dam, A. Wambersie, H. Bijwaard, R. O. Blaauboer, M. J. Brugmans
Brasil	O. Dias Gonçalves (Representante), J. L. Lipsztein (Representante), M. C. Lourenço, M. Nogueira Martins, D. R. Melo (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., Lu J., Pan S., Shang B., Shi J., Su X., Sun J., Sun Q., Wang F., Xiu B., Xuan Y., Yang G., Yang H., Yang X., Yu J., Zhang J., Zhu M.
Egipto	M.A.M. Gomaa (Representante), A. M. el-Naggar (Representante)
Eslovaquia	E. Bédi (Representante), P. Gaál, V. Klener, P. Ragan, L. Tomášek, D. Viktory (Representante), I. Zachariášová
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, A. Upton
Federación de Rusia	M. Kiselev (Representante), A. Akleev, R. M. Alexakhin, T. Azizova, N. P. Garnyk, A. K. Guskova (Representante), L. A. Ilyin (Representante), V. K. Ivanov, K. Kotenko, I. I. Kryshev, B. K. Lobach, Y. Mokrov, O. A. Pavlovsky, T. S. Povetnikova, S. Romanov, M. N. Savkin, V. A. Shevchenko, S. Shinkarev
Francia	A. Flüry-Hérard (Representante), E. Ansoborlo, A. Aurengo, D. Averbek, M. Benderitter, M. Bourguignon, C. Forestier, 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	O. Niwa (Representante), Y. Yonekura (Representante), T. Asano, M. Doi, Y. Ishikuro, A. Iwama, K. Kodama, H. Kuniyoshi, T. Maeyama, M. Nakano, Y. Nakayama, S. Saigusa, K. Sakai, M. Sasaki, Y. Sasaki (Representante), K. Sato, G. Suzuki, H. Tatsuzaki, S. Yoshinaga, M. Yoshizawa
México	H. Maldonado (Representante)
Perú	L. V. Pinillos Ashton (Representante)
Polonia	M. Waligórski (Representante), L. Dobrzyński, M. Janiak, Z. Jaworowski (Representante)
Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	R. Cox (Representante), S. Bouffler, R. H. Clarke (Representante), J. Cooper, S. Ebdon-Jackson, G. M. Kendall, T. McMillan, C. Muirhead, R. Paynter, P. Shrimpton, J. W. Stather
Sudán	A. Elgaylani (Representante), K. E. H. Mohamed (Representante))
Suecia	C. M. Larsson (Representante), A. Almén, L. E. Holm (Representante), L. Moberg

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

N. E. Gentner (períodos de sesiones 50° a 52°)

M. J. Crick (períodos de sesiones 53° a 56°)

Apéndice II

Personal científico y consultores que colaboraron con el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas en la preparación del informe científico del Comité correspondiente a 2008

M. Balonov

D. B. Chambers

K. Faulkner

G. Howe

G. Ibbott

G. Kirchner

D. Melo

R. Ricks

E. Rochedo

M. Stabin

G. A. M. Webb

D. Woodhead
