Naciones Unidas

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

57º período de sesiones
(16 a 20 de agosto de 2010)

Asamblea General
Documentos Oficiales
Sexagésimo quinto período de sesiones
Suplemento núm. 46

Asamblea General
Documentos Oficiales
Sexagésimo quinto período de sesiones
Suplemento núm. 46 (A/65/46)

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

57º período de sesiones
(16 a 20 de agosto de 2010)

Naciones Unidas • Nueva York, 2010

Nota

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

ISSN

[15 de septiembre de 2010]

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 57º período de sesiones	3
III.	Informe científico: resumen de los efectos de las radiaciones de dosis bajas en la salud	7
	A. El cáncer inducido por las radiaciones	8
	B. Efectos hereditarios de la exposición a las radiaciones	15
	C. Enfermedades no cancerosas asociadas a las radiaciones	17

Capítulo I

Introducción

1. La exposición a las radiaciones ionizantes se debe a fuentes como los procedimientos de diagnóstico y terapia médicos, el ensayo de armas nucleares, el radón y otros tipos de radiación de fondo natural, la producción de electricidad nuclear, los accidentes como el ocurrido en Chernobyl en 1986 y las ocupaciones que aumentan la exposición a fuentes de radiación artificiales 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[1]. En cumplimiento de su mandato, el Comité examina y evalúa a fondo los niveles mundial y regional de exposición a las radiaciones, y evalúa también 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 además examina los avances registrados en el conocimiento de los mecanismos biológicos por los que las radiaciones pueden producir efectos en la salud o el medio ambiente. Esos estudios constituyen el fundamento científico utilizado, entre otros, por los organismos competentes del sistema de las Naciones Unidas a fin de formular normas internacionales para la protección de la población en general y los trabajadores contra la radiación ionizante[2]; a su vez, esas normas se vinculan a importantes instrumentos jurídicos y de regulación.

---

[1] 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.

[2] Por ejemplo, las normas básicas de seguridad internacionales para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación, actualmente copatrocinadas por 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.

Capítulo II

Deliberaciones del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas en su 57º período de sesiones

3. El Comité celebró su 57º período de sesiones en Viena del 16 al 20 de agosto de 2010[3]. Norman Gentner (Canadá), Wolfgang Weiss (Alemania) y Mohamed A. Gomaa (Egipto) actuaron en calidad de Presidente, Vicepresidente y Relator, respectivamente. El período de sesiones había sufrido dos aplazamientos inevitables, en la primera ocasión debido a una crisis personal imprevista que afectó al Secretario del Comité y posteriormente por las interrupciones de vuelos en todo el mundo tras las erupciones volcánicas de abril de 2010 en Islandia. El Comité acusó recibo de las dos cartas del Presidente del Comité al Presidente de la Asamblea General en las que le informaba de las razones de los aplazamientos y las refrendó[4].

4. En cuanto al informe con anexos científicos que había aprobado en 2006[5], el Comité expresó su insatisfacción por que el volumen II, en que figuraban los anexos científicos titulados “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”, no se había publicado hasta julio de 2009. Además, en cuanto al informe con anexos científicos que había aprobado en 2008[6], también expresó su insatisfacción por que el volumen I, con los anexos científicos titulados “Exposición por usos médicos de la radiación” y “Exposición de la población en general y los trabajadores a diversas fuentes de radiación” no se había publicado hasta julio de 2010 y el volumen II, con los anexos científicos titulados “Exposición a las radiaciones en accidentes”, “Efectos en la salud de las radiaciones debidas al accidente de Chernobyl” y “Efectos de la radiación ionizante en la biota no humana”, seguía sin publicarse. El Comité considera intolerable el retraso de las publicaciones, ya que los Estados Miembros y las organizaciones competentes[7] cuentan con la información que figura en esos informes, a los cuales los miembros del Comité habían aportado inestimables conocimientos especializados, y porque el

---

[3] Asistieron también al 57º período de sesiones del Comité los observadores de Belarús, España, Finlandia, el Pakistán, la República de Corea y Ucrania, de conformidad con la resolución 64/85, párr. 14, de la Asamblea General, y observadores del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la OMS, el OIEA, la Comisión Europea, la Comisión Internacional de Protección Radiológica y la Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas.

[4] A/64/223 y A/64/796.

[5] Véase *Documentos Oficiales de la Asamblea General*, *sexagésimo primer período de sesiones,* Suplemento núm. 46 (A/61/46).

[6] Véase *Documentos Oficiales de la Asamblea General*, *sexagésimo tercer período de sesiones,* Suplemento núm. 46 (A/63/46).

[7] Por ejemplo, en su quincuagésima tercera reunión ordinaria, la Conferencia General del OIEA, en su resolución GC(53)/RES/10, titulada “Medidas para fortalecer la cooperación internacional en materia de seguridad nuclear, radiológica, del transporte y de los desechos,” alentó a la secretaría del Organismo a seguir teniendo en cuenta la información científica facilitada por el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) al elaborar normas de seguridad del Organismo.

fundamento técnico de los informes carecería de actualidad en el momento de la publicación. El Comité recalcó a la secretaría que era de suma importancia que el nuevo material sobre el accidente de Chernobyl se publicara con bastante antelación al 25º aniversario del accidente.

5. La secretaría informó de que las demoras podían atribuirse en parte a la plantilla insuficiente y a la carencia de financiación suficiente, segura y previsible, así como a los procedimientos de publicación en las Naciones Unidas. El Comité propone que la Asamblea General pida a la Secretaría de las Naciones Unidas que simplifique los procedimientos para publicar los informes del Comité como publicaciones destinadas a la venta, al reconocer que, sin menoscabo de la calidad, la publicación oportuna de esos informes es de vital importancia para alcanzar los logros previstos aprobados en el presupuesto por programas.

6. El Comité observó que la Asamblea General, en su resolución 63/89, había pedido al Secretario General que, al formular su proyecto de presupuesto por programas para el bienio 2010–2011, considerara todas las opciones, incluida la posibilidad de reasignación interna, para dotar al Comité Científico de los recursos indicados en los párrafos 48 y 50 del informe del Secretario General sobre las consecuencias financieras y administrativas del aumento del número de miembros del Comité Científico, la plantilla de su secretaría profesional y los métodos para obtener una financiación suficiente, segura y previsible[8]. El Comité observó con satisfacción que se había incluido en el presupuesto por programas para el bienio 2010-2011 un nuevo puesto del Cuadro Orgánico, de la categoría P-4. Ello está en consonancia con las recomendaciones que figuran en el informe del Secretario General y permitirá disipar finalmente la preocupación de que el hecho de contar con un solo puesto del Cuadro Orgánico en la secretaría del Comité había dejado a este extremadamente vulnerable y había restado eficiencia a la ejecución de su programa de trabajo aprobado.

7. El Comité elaboró y aprobó, a fin de presentarlo a la Asamblea General, un informe científico en que se resumen los efectos de las radiaciones de dosis bajas en la salud, incluida una síntesis de las pormenorizadas conclusiones del Comité sobre los mecanismos que rigen las acciones de la radiación en dosis bajas (véase el capítulo III infra). El Comité estima que convendría divulgar ese resumen ampliamente en todos los idiomas oficiales de las Naciones Unidas.

8. El Comité examinó documentos sustantivos sobre la posibilidad de atribuir determinados efectos en la salud a la exposición a las radiaciones y sobre la incertidumbre en la estimación de los riesgos de radiación. En cuanto a la posibilidad de atribuir determinados efectos en la salud a la exposición a las radiaciones en dosis bajas, el Comité decidió que era necesario examinar la capacidad para atribuir sobre bases científicas el riesgo y los efectos de las radiaciones en dosis altas y bajas y que debería quedar claro cuál era esa capacidad respecto de poblaciones y de la persona individual. En el 58º período de sesiones del Comité se tratará esa cuestión en un documento definitivo.

9. El Comité también examinó documentos preliminares sobre la evaluación de los niveles de radiación provocados por la producción de energía eléctrica y su metodología para calcular la exposición a las radiaciones debida a las emisiones. El

[8] A/63/478 y Corr. 1.

Comité reconoció que, si bien sus estudios sobre la exposición a las radiaciones debidas a la producción de electricidad eran actuales y pormenorizados en lo que se refería al ciclo del combustible nuclear, carecían de actualidad en lo que se refería al incremento de los niveles de material radiactivo natural vinculado al uso de combustibles fósiles y que tampoco se habían realizado nunca estudios comparables respecto de las fuentes de energía renovables. Sería preciso actualizar la metodología para poder realizar esos estudios de manera imparcial y se dio comienzo a un examen bibliográfico y la reunión de datos.

10. El Comité aprobó la estrategia concebida para mejorar la reunión, el análisis y la divulgación de datos. Esa estrategia se basa en la promoción de soluciones electrónicas, está dirigida a países específicos y entraña una estrecha colaboración con otras redes, en particular las del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS). El Comité propone que la Asamblea General: a) aliente a los Estados Miembros, las organizaciones del sistema de las Naciones Unidas y otras organizaciones competentes interesadas a que sigan proporcionando datos pertinentes sobre las dosis, los efectos y los riesgos derivados de diversas fuentes de radiación, lo que facilitaría muchísimo al Comité la preparación de futuros informes a la Asamblea General; y b) aliente al OIEA, la OMS y otras organizaciones competentes a que colaboren con la secretaría del Comité a fin de definir y coordinar arreglos para la reunión y el intercambio periódicos de información sobre la exposición a las radiaciones de la población general, los trabajadores y, en particular, las personas que reciben tratamiento médico.

11. El Comité examinó además los planes para llevar a cabo su labor relativa a la exposición médica a las radiaciones, los efectos biológicos de un grupo seleccionado de emisores internos, el aumento de la exposición a fuentes de radiación naturales debida a la actividad humana y la creación de una base de conocimientos sobre los niveles de radiación y sus efectos, y para mejorar la información pública. Decidió que la labor relativa a un grupo seleccionado de emisores internos se centrara en el tritio y el uranio, que había que redefinir el interés central de las evaluaciones del incremento de la exposición a las fuentes de radiación naturales para evitar superposiciones con otra labor y que se creara una base de conocimientos sobre los niveles de radiación y sus efectos una vez que aumentara la información reunida sobre las exposiciones.

12. Además de examinar los progresos realizados en el cumplimiento del programa de trabajo actual, el Comité examinó propuestas para su programa de trabajo futuro. Decidió realizar algunas investigaciones preliminares para determinar si se justificaría y sería oportuno preparar evaluaciones sustantivas de los efectos y riesgos que las radiaciones entrañan específicamente para los niños, así como de la epidemiología de la exposición de la población en general a fuentes ambientales naturales y artificiales en dosis bajas y tasas de dosis baja.

13. El Comité reconoce que, a fin de agilizar la ejecución de su programa de trabajo, serían útiles las contribuciones voluntarias al fondo fiduciario general creado por el Director Ejecutivo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente para recibir y gestionar contribuciones voluntarias en apoyo a la labor del Comité. El Comité propone que la Asamblea General aliente a los Estados Miembros a que estudien la posibilidad de hacer contribuciones voluntarias al fondos fiduciario general con esos fines.

14. El Comité analizó detalladamente el recordatorio que figura en el párrafo 13 de la resolución 64/85 en el sentido de que prosiguiera su reflexión sobre la mejor forma de llevar a cabo su labor esencial con su número de miembros actual y con una posible composición revisada, en particular, formulando, con la participación de los países observadores, criterios e indicadores detallados, objetivos y transparentes que se aplicarían por igual a los miembros actuales y futuros, y que informara sobre sus conclusiones.

Las conclusiones del Comité sobre este asunto se consignan en la adición 1 del presente informe.

15. El Comité decidió celebrar su 58º período de sesiones en Viena del 23 al 27 de mayo de 2011. Se eligió a nuevos funcionarios que guiarían la labor del Comité en sus períodos de sesiones 58º y 59º, a saber: Wolfgang Weiss (Alemania), para el cargo de Presidente; Carl-Magnus Larsson (Australia), para el cargo de Vicepresidente; y Mohamed A. Gomaa (Egipto), para el cargo de Relator.

Capítulo III

Informe científico: resumen de los efectos de las radiaciones de dosis bajas en la salud

16. En su labor científica, el Comité presta particular atención a examinar información sobre los efectos de la exposición a la radiación ionizante en la salud. Un objetivo esencial es ofrecer estimaciones basadas en pruebas del riesgo que para la salud humana entraña la exposición a radiaciones de dosis bajas y tasas de dosis baja en la población en general, los trabajadores y las personas sometidas a intervenciones médicas en todo el mundo. Con esos fines, el Comité entiende por dosis bajas las de 200 miligray o menos y por tasas de dosis baja las de 0,1 miligray por minuto (promedio de una hora o menos) en el caso de radiaciones como los rayos X y los rayos gamma externos[9]; el Comité observa, sin embargo, que se utilizan diferentes valores para definir las dosis bajas y las tasas de dosis baja con otros fines. En el presente informe se unifican y resumen, en términos sencillos, los conocimientos pormenorizados que el Comité reunió hasta 2006 en esas esferas clave y que aparecen en sus informes a la Asamblea General[10, 11, 12].

17. El Comité ha elaborado estimaciones del riesgo relativas a los efectos carcinógenos y hereditarios de las radiaciones. Últimamente existen cada vez más pruebas de que la exposición a las radiaciones de dosis bajas provoca una mayor incidencia de catarata. Son también motivo de cierta preocupación los resultados de estudios según los cuales la incidencia de trastornos circulatorios es mayor en las poblaciones sometidas a radiaciones de dosis altas. Estas enfermedades no cancerosas se producen de manera natural y pueden ser relativamente comunes en la población en general. Cuando se trata de atribuir a la exposición a las radiaciones de dosis bajas casos específicos de enfermedad surgen muchos problemas, como por ejemplo:

a) La falta de especificidad en el tipo o las características de la enfermedad inducida por la exposición a las radiaciones;

b) El período largo (de años o decenios) que media entre la exposición a las radiaciones y la aparición de la enfermedad;

c) La elevada incidencia espontánea de enfermedades vinculadas con las radiaciones en la población en general de edad avanzada.

---

[9] 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.

[10] *Effects of Ionizing Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation -- 2006 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes A and B,* vol. I (publicación de las Naciones Unidas, núm. de venta E.08.IX.6 y corrección).

[11] *Effects of Ionizing Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation -- 2006 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes C, D and E,* vol. II (publicación de las Naciones Unidas, núm. de venta E.09.IX.5).

[12] *Hereditary Effects of Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation -- 2001 Report to the General Assembly, with Scientific Annex* (publicación de las Naciones Unidas, núm. de venta E.01.IX.2).

Atendiendo a una petición concreta de la Asamblea General[13], el Comité está elaborando un informe amplio en que se analiza la posibilidad de atribuir científicamente determinados efectos en la salud a la exposición a las radiaciones de dosis bajas.

18. La información de que dispone el Comité corresponde a dos clases generales, a saber:

a) Los resultados de estudios sobre el exceso de enfermedades en poblaciones sometidas a radiaciones, por lo general de dosis moderadas o altas (por ejemplo, los resultados obtenidos a partir de estudios epidemiológicos);

b) Los resultados de estudios en que se utilizan modelos experimentales de enfermedades (por ejemplo, con animales y cultivos de células, a menudo acompañados de estudios de los efectos de las radiaciones a nivel subcelular, bioquímico y molecular) que pueden proporcionar información sobre el mecanismo por el cual se produce el efecto biológico o la enfermedad.

19. Debido a que las enfermedades de interés pueden ser relativamente comunes y a que en su incidencia pueden influir factores ajenos a las exposición a las radiaciones, las observaciones epidemiológicas no suelen arrojar pruebas claras del aumento de la incidencia vinculado a las radiaciones de dosis bajas. Por tal motivo, el Comité ha procurado utilizar al máximo los conocimientos más avanzados derivados de estudios experimentales y los conocimientos relativos al fundamento mecanicista de las enfermedades humanas. Al hacer estimaciones del riesgo para la salud, el Comité considera a las poblaciones y no a la persona individual. Hay cada vez más pruebas de que los factores genéticos y de otra índole pueden incidir en el riesgo de enfermedad; tal vez en el futuro se logre profundizar los conocimientos sobre esos factores.

A. El cáncer inducido por las radiaciones

20. El término general cáncer se emplea para definir alteraciones importantes del modelo de crecimiento de las células primitivas en los órganos del cuerpo. Esas células suelen desarrollarse y dividirse de manera coordinada para formar las células especializadas del órgano, pero el crecimiento anormal y el desarrollo atrofiado pueden producir en determinado órgano una masa de células que se denomina tumor sólido. El crecimiento o desarrollo anormales en las células de la médula ósea o las células linfáticas primitivas pueden producir, respectivamente, leucemia y linfoma. Según el órgano de que se trate, el crecimiento libre del tumor y los ulteriores cambios celulares pueden provocar la propagación de la enfermedad maligna, que frecuentemente es mortal. Hay pruebas epidemiológicas contundentes de que la exposición de los seres humanos a las radiaciones a niveles moderados y altos puede producir una incidencia excesiva de tumores sólidos en muchos órganos del cuerpo y de leucemia. También se tiene cada vez más información sobre los mecanismos celulares y moleculares que pueden dar lugar a esos tipos de cáncer.

21. El cáncer se debe a muchas causas, suele ser grave en el caso de los seres humanos y resulta una afección común que ocasiona casi una cuarta parte de las

[13] Resolución 62/100, párr. 6.

muertes en los países desarrollados y de una proporción cada vez mayor de las muertes en los países en desarrollo. Como se verá a continuación, si se compara, todo aumento de la incidencia del cáncer presuntamente causado por la exposición a radiaciones de dosis bajas resulta moderado.

1. Estudios epidemiológicos

22. Durante varios años el Comité ha utilizado un sistema de exámenes evolutivos de todos los estudios de la incidencia del cáncer asociada con las radiaciones en poblaciones humanas sujetas a radiación. Se ha concedido especial atención al rigor conceptual de los estudios, incluido el examen de una gran variedad de posibles factores concomitantes y de la capacidad estadística de cualquiera de esos estudios de poner de manifiesto la incidencia excesiva del cáncer asociada con las radiaciones. En el análisis del Comité se incluye una evaluación de la capacidad estadística de los estudios, el potencial de error sistemático y otras fuentes de incertidumbre, entre ellas las vinculadas con las dosis de radiación recibidas. El Comité también toma en consideración el método más adecuado para calcular el riesgo en poblaciones cuyas características difieren de las de las poblaciones estudiadas (por ejemplo, el método de estimación del riesgo de una población sometida a radiaciones en los Estados Unidos basándose en las estimaciones derivadas de los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón).

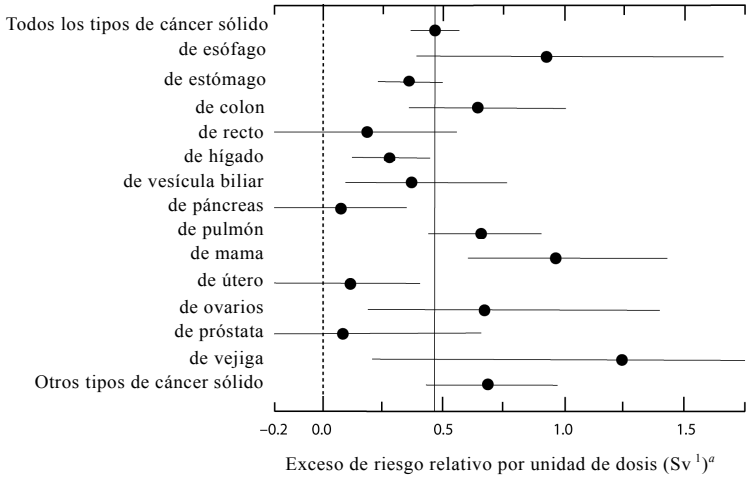
23. La información epidemiológica sobre la incidencia del cáncer asociada con las radiaciones proviene de los estudios realizados con los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón, grupos expuestos a radiaciones en el entorno laboral, personas que reciben radiaciones durante tratamientos médicos y personas expuestas a fuentes medioambientales de radiación. En los últimos años también ha sido posible detectar incidencia excesiva del cáncer de pulmón en grupos de personas expuestas en sus hogares al gas radiactivo radón de origen natural y sus descendientes.

24. Al examinar todos esos estudios, el Comité ha determinado que el conjunto de datos más informativo sobre la exposición corporal a las radiaciones proviene de los estudios hechos con los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón en 1945. La exposición a causa de las bombas atómicas consistió principalmente en radiaciones gamma de tasa de dosis alta, con un pequeño componente de neutrones. El Comité ha utilizado esos datos para evaluar los riesgos de cáncer sólido asociado con las radiaciones, así como el riesgo de leucemia y de linfoma. Aunque las incertidumbres estadísticas y de otro tipo restringen los análisis de todos los conjuntos de datos, también ha sido posible examinar tendencias del riesgo de radiación asociado con el sexo, la edad en el momento de la exposición y el tiempo transcurrido desde la exposición y examinar además las posibles diferencias de riesgo entre poblaciones de distintas partes del mundo. Hay algunos tipos de cáncer respecto de los cuales no se ha encontrado ninguna prueba de riesgo excesivo tras la exposición a las radiaciones y otros tipos de cáncer en los que se advierte exceso de riesgo solo después de dosis altas de radiación. En la figura I se presenta la variación de la sensibilidad a la inducción de cáncer sólido producido en 13 lugares del cuerpo, a partir de los datos sobre mortalidad de los sobrevivientes de las

bombas atómicas lanzadas en el Japón. En la figura se pueden observar claramente diferencias sustanciales en el riesgo de inducción de cáncer en diversos órganos[14].

Figura I

Estimaciones del riesgo de mortalidad por cáncer sólido de diferentes órganos derivadas de estudios realizados con los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón



Fuente: Effects of Ionizing Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation — 2006 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes A and B, vol. I (publicación de las Naciones Unidas, núm. de venta E.08.IX.6 y corrección), anexo A, fig. XI.

[a] Aunque la dosis absorbida se expresa en gray (Gy), al calcular los efectos biológicos se utiliza una cantidad ponderada, teniendo en cuenta el hecho de que distintos tipos de radiación tienen efectos biológicos diferentes frente a una misma cantidad de energía depositada. La cantidad ponderada se expresa en este caso en sievert (Sv). Las barras horizontales representan intervalos de confianza del 90%.

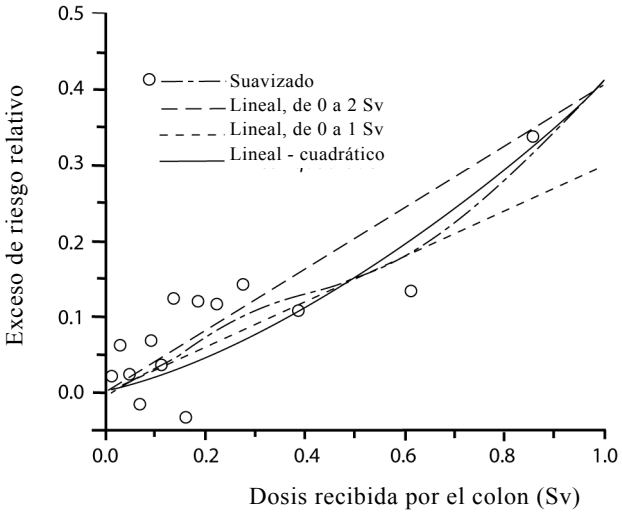
25. El Comité ha utilizado los datos epidemiológicos para examinar la relación entre la dosis de radiación recibida y el riesgo de inducción de cáncer, es decir, la relación dosis-respuesta. El exceso de riesgo relativo es una medida de la magnitud del aumento del riesgo de cáncer en la población objeto de estudio debido a las radiaciones en determinadas dosis (las cifras más altas indican mayor riesgo). En la figura II, los datos relativos a los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón respecto de todos los tipos de cáncer sólido combinados presentan el cuadro más claro de esa relación. La relación dosis-respuesta en la mortalidad vinculada con dosis bajas de radiación que se presenta en la figura II puede representarse mediante una función lo mismo lineal que curvilínea. Las elevaciones del riesgo estadísticamente importantes se observan en dosis de 100 a 200 miligray y superiores. Es poco probable que los estudios epidemiológicos por sí solos

[14] En diciembre de 2000, vivía aún el 45% de la cohorte de 86.611 sobrevivientes. De las 10.127 muertes por cáncer sólido debida a todas las causas, se calcularía que 479 estuvieron asociadas a la exposición a las radiaciones producidas por las detonaciones de las bombas, al igual que 93 muertes por leucemia de las 296 muertes por leucemia debidas a todas las causas.

permitan determinar elevaciones importantes del riesgo muy por debajo de esos niveles. Es un proceso complejo extraer de todos los estudios informativos una estimación general del riesgo durante toda la vida de cáncer inducido por exposición a las radiaciones. El Comité ha utilizado modelos matemáticos y datos relativos a las tasas subyacentes de cáncer en cinco poblaciones de diferentes regiones del mundo a fin de analizar esa cuestión, pero reconoce plenamente las incertidumbres presentes en las estimaciones. Las estimaciones actuales del Comité relativas al riesgo de cáncer mortal inducido por radiaciones se presentan en el cuadro 1; estas estimaciones del riesgo de cáncer son similares a las ya hechas por el Comité y otros organismos. Las estimaciones del riesgo varían según la edad, y las personas más jóvenes suelen ser más sensibles a las radiaciones; los estudios sobre la exposición a las radiaciones en el vientre materno indican que el feto es particularmente sensible a las radiaciones y que el riesgo es mayor en dosis de 10 miligray y superiores.

Figura II

Relación dosis-efecto correspondiente a la mortalidad por cáncer sólido sobre la base de los estudios realizados en 2002 sobre los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón



Fuente: Effects of Ionizing Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation — 2006 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes A and B, vol. I (publicación de las Naciones Unidas, núm. de venta E.08.IX.6 y corrección), anexo A, fig. IX.

26. La exposición a las radiaciones de los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón fue muy diferente de la de la mayoría de los grupos de personas expuestas a las radiaciones durante su trabajo o a las fuentes de radiación ambientales. Los sobrevivientes de las bombas atómicas estuvieron expuestos a una radiación externa de rayos gamma y neutrones, por lo general de dosis altas en períodos cortos de tiempo. En cambio, muchos de los otros grupos estuvieron expuestos durante períodos prolongados a radiaciones de dosis bajas y en ocasiones la exposición se debió a radionúclidos incorporados internamente. Los estudios epidemiológicos sobre la salud de los trabajadores del complejo nuclear de Mayak

en los Montes Urales meridionales, en la Federación de Rusia, así como sobre la salud de la población de las inmediaciones del río Techa, cuya exposición se debió a las emisiones radiactivas de esa instalación, han proporcionado valiosa información sobre la exposición prolongada a dosis bajas de radionúclidos incorporados internamente. Los estudios de vigilancia de las personas expuestas a las radiaciones provocadas por el accidente de Chernobyl han proporcionado información útil sobre los efectos de la exposición a radiaciones externas en dosis bajas y sobre los efectos de la exposición de la tiroides al yodo radiactivo. En general, las estimaciones del riesgo de cáncer derivadas de esos estudios no difieren mucho de las estimaciones obtenidas de los estudios relativos a los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón. En cambio, los estudios sobre la población humana que habita en zonas de elevada radiación de fondo natural en China y la India no indican que la radiación a esos niveles aumente el riesgo de cáncer. Esos y otros estudios continúan aportando nuevos datos. El Comité seguirá manteniéndolos bajo examen.

Cuadro I
Exceso de riesgo de mortalidad a lo largo de la vida (promedio de ambos sexos)[a]

Dosis aguda (Gy)	*Tipos de cáncer sólido combinados (porcentaje en dosis especificada)*	*Leucemia (porcentaje en dosis especificada)*
0,1	0,36-0,77	0,03-0,05
1,0	4,3-7,2	0,6-1,0

Fuente: Effects of Ionizing Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation — 2006 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes A and B, vol. I (publicación de las Naciones Unidas, núm. de venta E.08.IX.6 y corrección), anexo A, párr. 593.

[a] El exceso de riesgo a lo largo de la vida de un 1,0% equivale a un nuevo caso por cada 100 personas.

2. Estudios mecanicistas

27. El conocimiento de los mecanismos de la formación del cáncer tras la exposición a las radiaciones puede ser de ayuda para interpretar los datos epidemiológicos, en particular para trazar proyecciones a la baja a fin de calcular el riesgo correspondiente a dosis bajas y tasas de dosis bajas. Desde el año 2000, el Comité ha concedido mayor relieve al examen de las novedades en este campo.

28. A lo largo de muchos años, los estudios sobre la formación del cáncer han permitido reunir pruebas de que, por lo general, el proceso comienza con la modificación (mutación) de uno o más genes del ADN de una sola célula madre organoespecífica. Se cree que la formación posterior del cáncer y el comienzo de la malignidad pasan por múltiples etapas, las cuales se han relacionado también con la mutación u otros cambios que afectan a los genes celulares.

29. El Comité ha examinado las conclusiones de esos estudios, y las de muchos estudios sobre los efectos a nivel celular y subcelular de la exposición a las radiaciones. En la actualidad se considera que la energía depositada en la célula tras la irradiación puede dañar todos los componentes subcelulares. A nivel subcelular, las principales afectadas por los cambios celulares asociados a las radiaciones son

las moléculas de ADN que se encuentran en los cromosomas. El ADN contiene los códigos de unos 25.000 genes que coordinan todas las funciones en cada célula y, a no ser que se repare correctamente el daño provocado en un gen (o grupo de genes) por la radiaciones, la célula puede morir. Si ello no ocurre, la célula puede sobrevivir, pero con mutaciones del ADN que inciden en el comportamiento celular. Una pequeña fracción de esas mutaciones puede contribuir a la formación del cáncer. Las células poseen un número de sistemas de reparación del ADN que pueden corregir muchas formas de daño en el ADN inducidas espontáneamente o por agentes externos. En sentido lato, los sistemas de reparación del ADN sirven para restituir la integridad genética de una célula. Es importante señalar que las principales mutaciones que se producen durante la formación del cáncer suelen depender del órgano en que se encuentra la célula irradiada y se dividen en dos categorías generales, a saber: pequeñas mutaciones específicas en genes individuales y mutaciones por pérdida de secuencias de ADN (que en ocasiones abarcan a más de un gen).

30. Diversos estudios muy complejos sobre la forma en que las radiaciones provocan daños en el ADN celular, sobre los sistemas celulares que se encargan de reconocer y reparar esos daños y sobre la ocurrencia de mutaciones en el ADN asociadas a las radiaciones han arrojado nueva luz sobre los posibles mecanismos de formación del cáncer. La radiación puede provocar daños simultáneamente en ambas cadenas de la doble hélice del ADN, lo cual suele traer como consecuencia la rotura de la molécula de ADN y complejos cambios químicos conexos.

31. La correcta reparación de esos complejos daños en el ADN resulta difícil, e incluso en casos de dosis bajas de radiación es posible que haya una probabilidad muy reducida, aunque no nula, de que se produzcan mutaciones del ADN que aumenten el riesgo de formación del cáncer. Por consiguiente, el conjunto de pruebas científicas de que se dispone tiende a apoyar, en general, la existencia de una respuesta no vinculada con un umbral en lo que respecta al componente mutacional del cáncer inducido por radiaciones en dosis bajas y tasas de dosis bajas. La información sobre la naturaleza de las mutaciones asociadas a las radiaciones indica que las pérdidas de ADN (las supresiones de genes) tenderán a prevalecer en dicho componente mutacional. Existen también algunas pruebas de que la reducción del riesgo de cáncer debido a determinada exposición a dosis bajas y tasas de dosis bajas, en contraposición con la exposición a dosis altas y tasas de dosis altas, está vinculada, por lo menos en parte, a la capacidad de las células para reparar el daño provocado en el ADN tras la exposición a las radiaciones. A menudo se utiliza un factor de ajuste conocido como factor de efectividad de dosis y de tasa de dosis para tomar en consideración la reducción comparada de los efectos debida a dosis bajas y tasas de dosis bajas; sin embargo, en el informe de 2006 del Comité[10] se utilizó directamente un modelo lineal cuadrático de extrapolación para calcular el riesgo a dosis bajas y, por consiguiente, no se pudo aplicar ningún factor de efectividad de dosis y de tasa de dosis.

32. La inducción y la formación del cáncer tras la exposición a las radiaciones no se limitan sencillamente a la acumulación gradual de mutaciones en el ADN de las células afectadas. Se han realizado estudios relacionados con las siguientes hipótesis: a) que la adaptación de células y tejidos a dosis bajas de radiación puede hacerlas más resistentes a la formación del cáncer (respuesta adaptativa); b) que los efectos de la radiación en los sistemas inmunológicos, que reconocen las células

anormales y las destruyen, podrían incidir en la probabilidad de formación del cáncer; y, c) que la radiación puede producir cambios que engendran efectos duraderos y transmisibles en la estabilidad del ADN celular (inestabilidad genómica) o desencadenan la transferencia de señales de las células dañadas a las células vecinas que no han resultado dañadas (efectos circunstantes); se ha señalado que tanto la inestabilidad genómica como los efectos circunstantes son posibles factores que modifican el riesgo de cáncer vinculado con las radiaciones. Estos y otros factores moduladores, como la inducción de reacciones inflamatorias, pueden contribuir a que aumente o disminuya el riesgo de cáncer debido a la exposición a las radiaciones.

33. El Comité ha examinado esos estudios y opina que tales procesos no contribuyen de manera significativa a la interpretación de los datos epidemiológicos.

34. La naturaleza de la exposición a las radiaciones repercute en el riesgo de cáncer. Las distintas radiaciones (por ejemplo, rayos X, partículas beta o partículas alfa) difieren en cuanto a su eficacia de inducción del cáncer. Además, la exposición a las radiaciones puede ser interna, por ingestión o inhalación de material radiactivo, o externa, proveniente de una fuente de radiación como los exámenes de diagnóstico con rayos X. La dispersión del material radiactivo en el organismo como consecuencia de una ingestión es un proceso complejo, y se requieren modelos muy detallados para calcular las dosis que reciben los tejidos y sus efectos en la salud. La exposición interna fue un importante componente de la exposición general a las radiaciones tras el accidente de Chernobyl. El Comité ha estudiado específicamente las consecuencias de ese accidente[15]. También se dispone de las estimaciones del riesgo de exposición interna realizadas en el marco de los estudios epidemiológicos sobre el personal del complejo nuclear de Mayak en la Federación de Rusia y sobre varios otros grupos de personas expuestas a radiaciones.

35. Por último, el Comité ha examinado los avances registrados en los conocimientos acerca de las afecciones hereditarias que aumentan la susceptibilidad de las personas a sufrir determinados tipos de cáncer en comparación con la incidencia normal. Existen algunos datos epidemiológicos obtenidos en estudios realizados con personas sometidas a radioterapia que prueban que las personas que padecen determinados tipos de esas afecciones de predisposición corren mayor riesgo de sufrir cáncer tras la exposición a las radiaciones. Los resultados de los estudios experimentales realizados con células y animales refuerzan esa conclusión e indican que esa mayor sensibilidad a la exposición a las radiaciones en personas con predisposición al cáncer podría tener un carácter más general. Otros factores personales (como la edad, el estado hormonal y el estado inmunológico) y ambientales (como la exposición a toxinas y la alimentación) podrían contribuir a la sensibilidad de cada persona a las radiaciones. Sin embargo, en la actualidad esa conclusión preliminar se limita a las afecciones hereditarias, en cuyo contexto la incidencia excesiva de cáncer resulta claramente evidente en las familias. Esas afecciones son demasiado poco comunes en las poblaciones como para repercutir en las estimaciones del riesgo de cáncer hechas por el Comité; sin embargo, puede que

---

[15] Véase *Documentos Oficiales de la Asamblea General*, *sexagésimo tercer período de sesiones,* Suplemento núm. 46 (A/63/46).

sea más común un grado menor de sensibilidad hereditaria al cáncer asociado a las radiaciones.

B. Efectos hereditarios de la exposición a las radiaciones

36. A diferencia de los estudios sobre el cáncer asociado a las radiaciones, los estudios epidemiológicos no han dado indicios claros del exceso de efectos hereditarios de la exposición a las radiaciones en los seres humanos. El estudio más amplio y exhaustivo de este tipo se realizó utilizando datos de hijos de los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón. Ni en ese ni en ningún otro estudio con seres humanos se observó aumento alguno en la frecuencia de los efectos hereditarios. Por consiguiente, esos estudios no permiten hacer una estimación directa de ningún riesgo hereditario de la exposición a las radiaciones. Tampoco confirman que no existan riesgos de efectos hereditarios, ya que resulta difícil detectar un pequeño exceso de incidencia asociado a la exposición a las radiaciones por encima de una incidencia bastante alta en poblaciones no sometidas a radiaciones (cuadro 2). Sin embargo, los resultados de esos estudios son útiles porque ofrecen un límite superior para la estimación de todo riesgo conexo.

Cuadro 2
Estimaciones del riesgo de enfermedades hereditarias en la generación siguiente a causa de la exposición de la población madre a radiaciones de dosis bajas

Clase de enfermedad	*Frecuencia de referencia (por cada millón de personas)*	*Riesgo en la primera generación por unidad de dosis de transferencia lineal de energía (TLE) baja*[a] *(por cada millón de personas expuestas a 1 gray)*
Dominante (incluidas las enfermedades ligadas al cromosoma X)	16 500	~750-1 500
Cromosómica	4 000	[b]
Enfermedades poligénicas crónicas	650 000	~250-1 200
Anomalías congénitas	60 000	~2 000

Fuente: Hereditary Effects of Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation — 2001 Report to the General Assembly, with Scientific Annex (publicación de las Naciones Unidas, núm. de venta E.01.IX.2), anexo, cuadro 46.

[a] Entre los tipos de radiación con transferencia lineal de energía (TLE) baja figuran los rayos X, los rayos gamma y las partículas beta.

[b] Se supone que queda subsumido en parte en el riesgo de enfermedades autosómicas dominantes y de enfermedades ligadas al cromosoma X y en parte en el riesgo de anomalías congénitas.

37. Mientras que los efectos de la irradiación relacionados con el cáncer se manifiestan en los órganos de las personas directamente expuestas a las radiaciones, los efectos hereditarios se originan en daños causados al ADN de las células

germinales (la esperma y los óvulos) en los órganos reproductivos (los testículos en los hombres y los ovarios en las mujeres) de las personas expuestas. Si el daño causado en el ADN produce mutaciones en las células germinales, estas pueden transmitirse a los descendientes de la persona irradiada y demás generaciones futuras. Una parte de esas mutaciones serán la causa directa de enfermedades hereditarias dominantes. Otras mutaciones actúan indirectamente mediante la interacción con otros genes y modos de vida o con factores ambientales para causar enfermedades poligénicas crónicas. De todas formas, ambas clases de enfermedades se producen de manera natural y contribuyen a defectos de nacimiento (anomalías congénitas) en la descendencia. Los estudios sobre la incidencia de deformaciones congénitas en un gran número de recién nacidos en las zonas de altos niveles de radiación de fondo natural en la India y China no indican un aumento en la frecuencia de las deformaciones.

38. La demostración más clara de los efectos hereditarios de la exposición a las radiaciones proviene de extensos estudios experimentales con animales sometidos a altas dosis de radiación, en particular los realizados con ratones de laboratorio. El Comité ha examinado y analizado los datos sobre mutaciones obtenidos en esos estudios, sobre todo a la luz de nuevos datos sobre los tipos de mutaciones del ADN en las células germinales (en su mayoría, pérdidas de ADN) y la forma en que se vinculan con los efectos hereditarios en la descendencia. El Comité ha adoptado la llamada dosis de duplicación de las mutaciones como medida de los efectos hereditarios de la exposición a las radiaciones. La dosis de duplicación de radiación es aquella que producirá en una generación tantas nuevas mutaciones como las que se producen espontáneamente. Hasta hace poco, se calculaba que la dosis de duplicación derivada únicamente de estudios con ratones era de 1 gray, la cual se aplicaba para calcular los efectos hereditarios en poblaciones de seres humanos sometidas a la exposición en dosis bajas a lo largo de muchas generaciones.

39. En 2001, el Comité revisó sus métodos con miras a:

a) Incluir nuevas estimaciones de la tasa de mutación espontánea en los seres humanos;

b) Tener en cuenta los efectos mortíferos de algunas mutaciones en el desarrollo del embrión y otros efectos que desaparecerán de la población ya que impiden la reproducción humana o reducen notablemente la probabilidad de reproducción;

c) Utilizar una relación revisada entre la introducción de mutaciones nuevas en la población y la incidencia de enfermedades hereditarias.

40. Teniendo en cuenta las citadas revisiones y otros análisis, el Comité logró presentar no solo una nueva estimación del riesgo de enfermedades hereditarias dominantes monogénicas, sino también y por primera vez, una estimación del riesgo de enfermedades poligénicas. Esas estimaciones se muestran en el cuadro 2 y se basan en un marco más completo desde el punto de vista científico que el existente antes de 2001. Tal vez los rápidos avances en la tecnología relativa a la secuenciación del ADN y en el conocimiento de la variación genética humana aporten información más directa en el futuro sobre el riesgo hereditario.

C. Enfermedades no cancerosas asociadas a las radiaciones

41. La exposición a las radiaciones del embrión o el feto en formación durante el embarazo también puede contribuir a la aparición de enfermedades no cancerosas en los hijos. Además de la inducción de mal formaciones congénitas, el sistema nervioso central se ve particularmente afectado. Dos factores principales influyen en el riesgo, a saber: la dosis de radiación y la fase concreta en que se encuentra el desarrollo del embrión o el feto en el momento de la exposición. Basándose principalmente en estudios con animales y en algunas observaciones llevadas a cabo después de la exposición de mujeres embarazadas a radiaciones de dosis altas, el Comité considera que el umbral para que se produzcan esos efectos es de unos 100 miligray.

42. Hay un cúmulo de pruebas de que el riesgo de contraer enfermedades comunes además del riesgo de contraer cáncer puede aumentar tras la irradiación, por lo menos en casos de exposición a dosis de moderadas a altas. Esas pruebas nacen en su mayoría de estudios epidemiológicos de los datos de los sobrevivientes de las bombas atómicas lanzadas en el Japón, en particular los relativos a trastornos circulatorios. En su informe de 2006[10], el Comité examinó las pruebas obtenidas en los estudios sobre los sobrevivientes de las bombas atómicas y en diversas investigaciones de otros grupos sometidos a radiaciones. En ese análisis se tropezó con dificultades como, por ejemplo, los fuertes antecedentes de incidencia de esas enfermedades en las poblaciones no sometidas a radiación; la consideración debida de otros factores además de la exposición a las radiaciones (por ejemplo, el tabaquismo, los índices de colesterol, la predisposición hereditaria); y la ausencia de mecanismos celulares conocidos que intervinieran en su evolución. El único indicio claro de exceso de riesgo de enfermedad cardiovascular mortal asociado a la exposición a las radiaciones, en dosis de radiación al corazón por debajo de aproximadamente 1 a 2 gray, proviene de los datos sobre los sobrevivientes de las bombas atómicas. Los demás estudios examinados por el Comité aportaron indicios de exceso de enfermedades cardiovasculares en casos de radiaciones de dosis más altas. En cuanto a todas las demás enfermedades no cancerosas combinadas, se llega a la misma conclusión general que en el caso de las enfermedades cardiovasculares. En su examen el Comité no logró arribar a ninguna conclusión sobre una relación causal directa entre la irradiación en dosis por debajo de aproximadamente 1 a 2 gray y el exceso de incidencia de enfermedades cardiovasculares y otras enfermedades no cancerosas. Aún no están claras las características de la relación dosis-respuesta de esas enfermedades frente a dosis bajas de radiación.

43. Estudios epidemiológicos recientes vienen arrojando resultados que indican que existe un riesgo elevado de enfermedades no cancerosas ante dosis de radiación por debajo de 1 a 2 gray y, en algunos casos, dosis mucho menores. Sin embargo, todavía no se tiene claro cuáles son los mecanismos conexos y la estimación del riesgo en casos de dosis bajas de radiación sigue siendo problemática. Se trata de un campo en que se investiga con intensidad, y el Comité seguirá manteniendo bajo examen las novedades que se produzcan al respecto.

44. En 2006, el Comité también presentó una evaluación de los efectos de la radiación ionizante en el sistema inmunológico[11]. En principio, si la radiación sirve para que aumente o disminuya la capacidad del organismo de dar una respuesta inmunológica a una infección, al cáncer o a alguna otra enfermedad, ello podría

repercutir en el riesgo de toda enfermedad debida a la exposición a las radiaciones. Aunque se examinaron muchos estudios, no fue posible formarse una opinión clara en el sentido de si los efectos en el sistema inmunológico provocados por las radiaciones en dosis bajas servían para estimular o inhibir las respuestas inmunológicas.

45. Por último, el Comité observa que los estudios recientes indican además que la mayor incidencia de catarata puede estar asociada a la exposición a radiaciones de dosis bajas. Desde hace algunos años se ha reconocido que la inducción de esas anomalías en el cristalino es un efecto de la exposición a radiaciones de dosis altas. Como ocurre con los trastornos circulatorios, el Comité seguirá vigilando y examinando los nuevos resultados que se obtengan en las investigaciones en ese campo. Además, se mantendrán bajo examen los mecanismos de posible importancia para explicar las enfermedades inducidas por las radiaciones, como la inestabilidad genómica y los efectos circunstantes, así como los nuevos conceptos y tecnologías que puedan contribuir a un conocimiento más cabal de los efectos en la salud de la exposición a las radiaciones en dosis bajas y de los mecanismos que explican esos efectos.