



**INFORME DEL
COMITE CIENTIFICO DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LAS
RADIACIONES ATOMICAS**

ASAMBLEA GENERAL

DOCUMENTOS OFICIALES: VIGESIMO SEPTIMO PERIODO DE SESIONES

SUPLEMENTO No. 25 (A/8725)

NACIONES UNIDAS

**INFORME DEL
COMITE CIENTIFICO DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LAS
RADIACIONES ATOMICAS**

ASAMBLEA GENERAL

DOCUMENTOS OFICIALES: VIGESIMO SEPTIMO PERIODO DE SESIONES

SUPLEMENTO No. 25 (A/8725)



NACIONES UNIDAS

Nueva York, 1972

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.

INDICE

	<u>Párrafos</u>	<u>Página</u>
INTRODUCCION	1 - 7	1
CAPITULO		
I. Fuentes y dosis de radiación	8 - 31	4
II. Efectos genéticos de las radiaciones	32 - 45	11
III. Efectos de las radiaciones en la reacción de inmunidad	46 - 50	15
IV. Radiocarcinogénesis	51 - 59	17

INTRODUCCION

1. El presente es el sexto informe sustantivo del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas 1/ a la Asamblea General. En él se estudia el volumen de radiaciones recibidas de todas las fuentes a las que está expuesto el hombre y, entre los efectos de las radiaciones ionizantes, se consideran los efectos genéticos, los producidos sobre la reacción de inmunidad y la inducción de tumores malignos en los animales y el hombre. Estos no son los únicos efectos de las radiaciones ionizantes. Así, no se consideran en el presente informe las consecuencias agudas de las grandes cantidades de radiaciones que pueden recibirse accidentalmente o en una guerra nuclear (el breve examen de este punto en el informe de 1962 sigue siendo válido en términos generales, por lo menos como introducción), ni los efectos sobre el sistema nervioso ni la inducción de anomalías cromosómicas en células somáticas, cuestiones que el Comité examinó en su informe de 1969.

2. A diferencia de los informes anteriores del Comité, este informe se presenta a la Asamblea General sin los anexos técnicos donde se examinan en detalle los datos considerados por el Comité y se documentan extensamente las bases en que se fundan sus conclusiones, que se exponen en el informe. Sin embargo, los anexos se presentan, al mismo tiempo que el informe, en una publicación aparte, en dos volúmenes 2/, y el Comité desea señalar a la Asamblea General que la separación del informe y los anexos es para comodidad de los interesados únicamente y que los datos científicos que figuran en los anexos revisten importancia fundamental.

1/ El Comité Científico fue creado por la Asamblea General en su décimo período de sesiones, celebrado en 1955. Sus atribuciones se indican en la resolución 913 (X). Está compuesto por 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. Los informes sustantivos anteriores del Comité se encontrarán en Documentos Oficiales de la Asamblea General, decimotercer período de sesiones, Suplemento No. 17 (A/3838); ibid., decimoséptimo período de sesiones, Suplemento No. 16 (A/5216); ibid., decimonoveno período de sesiones, Suplemento No. 14 (A/5814); ibid., vigésimo primer período de sesiones, Suplemento No. 14 (6314); e ibid., vigésimo cuarto período de sesiones, Suplemento No. 13 (A/7613). En el presente informe se denominarán informes de 1958, 1962, 1964, 1966 y 1969 respectivamente.

2/ Ionizing Radiation: Levels and Effects, Volume I: Levels (Publicación de las Naciones Unidas No. de venta 72.IX.17) y Volume II: Effects (Publicación de las Naciones Unidas, No. de venta 72.IX.18) (publicados en francés e inglés solamente). En el Volumen I figuran los apéndices y los anexos A a D, y en el Volumen II, los anexos E a H.

3. La preparación del informe se hizo durante los períodos de sesiones 20.^o, 21.^o y 22.^o del Comité 3/. La mayor parte de la labor se hizo en reuniones de grupos especiales de expertos que examinaron los documentos de trabajo preparados por la Secretaría y modificados durante el proceso de redacción, sobre la base de las peticiones del Comité. El informe mismo se redactó en el 22.^o período de sesiones. El Profesor B. Lindell (Suecia) y el Dr. V. Zeleny (Checoslovaquia) y el Profesor L.R. Caldas (Brasil) desempeñaron los cargos de Presidente, Vicepresidente y Relator, respectivamente, en el 20.^o período de sesiones. Los profesores B. Lindell (Suecia), F.H. Sobels (Bélgica) y L.R. Caldas (Brasil) desempeñaron los cargos de Presidente, Vicepresidente y Relator, respectivamente, en el 21.^o período de sesiones, y el Profesor L.R. Caldas (Brasil), el Profesor F.H. Sobels (Bélgica) y el Dr. A. Nelson (Suecia) desempeñaron los mismos cargos, respectivamente, en el 22.^o período de sesiones. Los nombres de los expertos que asistieron a los períodos de sesiones 20.^o, 21.^o ó 22.^o, como miembros de delegaciones nacionales figuran en el apéndice I*.

4. El Comité recuerda que en 1971 presentó a la Secretaría de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano un documento básico sobre evaluación y control de la contaminación del medio, basado en la experiencia del Comité en materia de radiactividad artificial. El Comité reconoce que, de conformidad con su mandato actual, tal como está establecido en la resolución 913 (X) de la Asamblea General, tanto él como los recursos de que dispone pueden ser de utilidad en la estrategia de las Naciones Unidas sobre el medio humano que quizá surja de la citada Conferencia, y está preparado para desempeñar ese papel. El Comité reconoce asimismo que, en las circunstancias actuales, puede seguir desempeñando sus actuales funciones pero presentando informes a la Asamblea General con menos frecuencia que hasta ahora. Por lo tanto, solicita que se lo exima de la obligación de informar a la Asamblea General antes del vigésimo noveno período de sesiones y tiene la intención, siempre y cuando la Asamblea acceda a esa solicitud, de no reunirse antes de fines de 1973, a menos que se le pida que desempeñe nuevas funciones dentro del marco de la estrategia de las Naciones Unidas sobre el medio humano, o que atienda alguna otra solicitud especial.

5. En la preparación del presente informe el Comité fue asistido por un pequeño personal científico y por consultores nombrados por el Secretario General. El personal científico y los consultores se encargaron del examen y la evaluación preliminares de la información técnica recibida por el Comité o aparecida en publicaciones científicas. El Comité se hace plenamente responsable del informe, pero desea reconocer la ayuda y el asesoramiento recibidos de los científicos cuyos nombres se indican en el apéndice II*. Es mucho lo que debe el Comité a su colaboración y competencia en la materia.

3/ El 20.^o período de sesiones se celebró en la Oficina de las Naciones Unidas en Ginebra del 21 al 25 de septiembre de 1970, y los períodos 21.^o y 22.^o, en la Sede, del 14 al 25 de junio de 1971 y del 13 al 24 de marzo de 1972, respectivamente.

* No se reproduce en el presente documento; se ha incluido en la publicación titulada Ionizing Radiation: Levels and Effects, Volume I: Levels (Publicación de las Naciones Unidas, No. de venta 72.IX.17).

6. Asistieron a los períodos de sesiones del Comité celebrados durante el lapso que se examina representantes de 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) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), así como de la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones (CIR) y de la Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas (CIUR). El Comité les agradece su contribución a las deliberaciones.

7. En el apéndice III* del presente informe se indican los informes recibidos de Estados Miembros de las Naciones Unidas y de miembros de los organismos especializados y del Organismo Internacional de Energía Atómica, así como de estos mismos organismos, por el Comité, entre el 17 de mayo de 1969 y el 24 de marzo de 1972. Los informes recibidos antes del 17 de mayo de 1969 se han indicado en informes anteriores del Comité a la Asamblea General. La información recibida oficialmente por el Comité se complementó con información procedente de la literatura científica actual u obtenida de comunicaciones privadas inéditas de hombres de ciencia, y se interpretó a la luz de esa información.

* No se reproducen en el presente documento; se ha incluido en la publicación titulada Ionizing Radiation: Levels and Effects, Volume I: Levels (Publicación de las Naciones Unidas, No. de venta 72.IX.17).

CAPITULO I

FUENTES Y DOSIS DE RADIACION

A. Radiaciones ambientales^{4/}

1. Radiaciones naturales

8. El hombre, desde su aparición en la superficie de la tierra, ha estado continuamente expuesto a las radiaciones naturales, hasta hace menos de un siglo, las únicas radiaciones a las que había estado expuesto eran las de origen natural. Aún en la actualidad, a pesar del uso creciente de dispositivos que producen radiaciones, de la contaminación radiactiva generalizada causada por los ensayos de armas nucleares y de las crecientes aplicaciones de la energía nuclear y de los radioisótopos, la principal contribución a la irradiación de la mayor parte de las poblaciones humanas proviene de fuentes naturales, y así es probable que siga ocurriendo en el futuro previsible.

9. Las radiaciones naturales son de dos orígenes: extraterrestre y terrestre. La radiación extraterrestre se origina en el espacio ultraterrestre en forma de rayos cósmicos primarios y llega a la atmósfera, donde se produce una interacción de ésta con la energía y las partículas incorporadas a la atmósfera, lo cual da origen a rayos cósmicos secundarios, a los cuales están expuestos los seres vivos de la superficie terrestre. La tasa de las dosis debidas a los rayos cósmicos es bastante constante en cualquier punto de la superficie terrestre pero varía con la latitud y, en mayor medida, con la altitud. Los valores típicos al nivel del mar en latitudes templadas son del orden de 30 milirads por año. A medida que aumenta la altitud, las tasas de dosis se duplican aproximadamente cada 1.500 metros hasta unos cuantos kilómetros por encima de la superficie terrestre.

10. En los aviones que vuelan a grandes alturas se plantean problemas especiales. En ese caso, no sólo la tasa de dosis de los rayos cósmicos es consecuentemente mayor que a altitudes menores sino que también, en escasas ocasiones, puede aumentar súbitamente como consecuencia de la emisión de partículas de alta energía procedentes de erupciones solares. Ocasionalmente, las tasas de dosis pueden ser suficientemente grandes como para obligar a los aviones a descender a las capas protectoras más bajas de la atmósfera a fin de evitar un nivel inaceptable de irradiación para la tripulación y los pasajeros. Las tripulaciones de los aviones supersónicos de transporte que vuelen más de 500 horas por año a grandes altitudes y latitudes recibirán probablemente una irradiación algo mayor que las tripulaciones de los actuales aviones subsónicos de retropropulsión. Las dosis recibidas por los pasajeros por kilómetro de vuelo serán probablemente más o menos iguales en los aviones supersónicos de transporte que en los aviones corrientes de retropropulsión a causa de la menor duración de los vuelos de los primeros.

11. La radiación terrestre procede de los núclidos radiactivos presentes en cantidades variables en todos los suelos y rocas, la atmósfera y la hidrosfera, y de los radionúclidos que pasan del suelo al hombre a través de cadenas alimentarias o por

^{4/} Para mayor información, véase el anexo A.

inhalación y se depositan en sus tejidos. Por lo tanto, la radiactividad terrestre produce irradiación interna y externa. Las tasas de dosis externas varían según la naturaleza del suelo y de los materiales de construcción, en tanto que las internas son relativamente constantes. Como consecuencia de las radiaciones terrestres externas e internas, la mayor parte de la población mundial recibe tasas de dosis del orden de 50 y 20 milirads por año respectivamente. Las poblaciones que viven en zonas donde los suelos tienen un alto contenido de uranio y torio (unos cientos de miles de personas) reciben tasas de dosis mayores en un orden de magnitud.

2. Radiaciones del medio causadas por el hombre

a) Ensayos de armas nucleares en la atmósfera y en la superficie terrestre

12. En los últimos años los ensayos de armas nucleares han sido menos frecuentes que anteriormente. Los realizados antes de 1963 siguen representando con mucho la mayor serie de fenómenos que hayan causado contaminación radiactiva en el globo. Sin embargo, los residuos que esos ensayos inyectaron en la estratosfera ya se han depositado casi enteramente en la superficie de la tierra, de modo tal que la mayor parte de la radiactividad residual no desintegrada procedente de los primeros ensayos está ahora presente en el suelo, en los cultivos y en tejidos animales, de los cuales se va eliminando gradualmente mediante una serie de mecanismos físicos y biológicos. Tal como en el pasado, el Comité ha examinado la contribución que los radionúclidos producidos por los ensayos nucleares habrán hecho a las dosis medias totales que se habrán acumulado en ciertos tejidos para el año 2000.

13. La absorción de estroncio 90, núclido que se deposita en los huesos, es menor ahora que en el pasado porque las cantidades del mismo absorbidas del suelo por plantas utilizadas para la alimentación o como forraje son comparativamente reducidas, en tanto que el depósito directo en la vegetación, que era el principal mecanismo de contaminación en las épocas en que la precipitación radiactiva era muy grande, contribuye ahora muy poco a la absorción por el hombre. Como resultado de ello, los niveles de estroncio 90 han disminuido considerablemente en niños y adultos. El hecho de que las tasas de depósito de estroncio 90 sean ahora mucho menores que hace algunos años ha permitido evaluar con criterio más realista el ritmo a que este núclido es absorbido del suelo y eliminado del cuerpo humano. Estos valores discrepan de los que el Comité, en ausencia de cálculos directos, había supuesto anteriormente y llevan a establecer estimaciones de compromisos de dosis menores que las que el Comité había aceptado en su último informe. Fue preciso, en cambio, incrementar las estimaciones de dosis externas causadas en todos los tejidos por la precipitación radiactiva depositada en el suelo. Como resultado de ello, aunque las existencias totales de núclidos de período largo producidas por los ensayos nucleares sólo han cambiado muy ligeramente, la importancia relativa del estroncio 90 desde el punto de vista de su contribución a la dosis total que recibirá la población hasta el año 2000 es menor ahora que antes. La principal contribución procede ahora de los núclidos que, como el cesio 137, dan origen a irradiación externa. La dosis total per capita que habrá recibido entre 1955 y el año 2000 toda la población mundial a causa de los ensayos efectuados entre 1955 y fines de 1970 equivale a unos dos años de irradiación de fuentes naturales. Sin embargo, como los ensayos de armas nucleares no cesaron en 1971, no puede excluirse la posibilidad de que haya que añadir un nuevo compromiso de dosis.

14. El yodo 131 es un radionúclido que plantea problemas especiales porque se concentra en el tiroides e irradia a dicha glándula más que a cualquier otro tejido. Las dosis por unidad de absorción (en su mayor parte a través de la leche) son mayores en los niños de corta edad. Se ha comunicado la presencia de yodo 131 en la leche en varios países del hemisferio austral luego de cada una de las series de ensayos realizados en ese hemisferio en 1970 y 1971. Las dosis medias anuales al tiroides de los niños de corta edad equivalían a varias decenas de milirrads, y las dosis anuales máximas seguían siendo mucho menores que las registradas en el hemisferio boreal antes de 1963.

b) Producción de energía mediante la fisión nuclear

15. La producción de energía eléctrica en gran escala mediante la fisión nuclear presupone un ciclo de operaciones complejas, la mayoría de las cuales entraña descargas de material radiactivo en el medio y una correspondiente irradiación de la población en general. La irradiación producida hasta la fecha y que puede producirse en el futuro en todo el mundo a causa de descargas operacionales ha sido analizada por el Comité sobre la base de la información publicada o presentada directamente al Comité. Si bien sólo se contó con información procedente de algunos de los países en que funcionan reactores de potencia, no hay razón para suponer que la irradiación de la población vinculada al ciclo de producción de energía difiera mayormente en otros países. El Comité no ha considerado la contaminación que podría resultar de futuras descargas accidentales de radiactividad.

16. En el ciclo completo de la producción (desde la extracción y la elaboración del mineral hasta la regeneración del combustible consumido, pasando por la fabricación y el enriquecimiento del combustible y la producción de energía en los reactores, las dos últimas operaciones son las que contribuyen principalmente a la dosis total recibida por la población a causa de la producción de energía nuclear, debido principalmente a la irradiación profesional de los trabajadores en esas dos etapas del ciclo.

17. La irradiación es a la vez local, en el caso de las poblaciones limitadas que viven en la proximidad de las instalaciones nucleares, y mundial. La mayor parte de la dosis recibida por la población es externa, debida a descargas gaseosas de las chimeneas, pero hay también una contribución menor debida a las descargas en efluentes líquidos. Las dosis mundiales recibidas anualmente por el público en general como resultado del funcionamiento continuado del ciclo de producción de energía al ritmo de producción de 1970 se estiman en 1/100.000 de la dosis media procedente de fuentes naturales recibida anualmente por la población mundial. Las dosis locales pueden ser varias veces más altas que las mundiales.

18. Según las estimaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica, la capacidad de generación mundial habrá aumentado en más de doscientas veces para el año 2000. Con la tecnología y las prácticas operacionales actuales, si la producción de energía nuclear se estabilizara en el nivel estimado para el año 2000, las dosis anuales de radiación mundial debidas al ciclo de producción de energía podrían ser del orden de dos milésimas de las causadas anualmente por las fuentes naturales. La magnitud del aumento medio de las dosis locales es más difícil de predecir pues depende de la densidad de la población así como de la producción de las instalaciones, pero las dosis recibidas anualmente si la producción de energía continuara al nivel estimado para el año 2000 probablemente no excederían considerablemente las dosis mundiales anuales causadas por fuentes naturales. Es posible que los adelantos tecnológicos permitan reducir considerablemente estas dosis previstas.

c) Explosiones nucleares con fines pacíficos

19. Los explosivos nucleares encierran posibilidades de aplicaciones pacíficas que hasta la fecha prácticamente no se han utilizado. Entre las que podrían aprovecharse en el futuro próximo se cuentan la extracción de recursos naturales subterráneos (particularmente gas natural y petróleo), la formación de cavidades subterráneas para depósito mediante explosiones circunscritas y la construcción de depósitos, puertos, canales, etc., aprovechando los movimientos de tierra que ocasionan las explosiones subterráneas de formación de cráteres. Ambos tipos de explosiones pueden exponer a la población a irradiaciones vinculadas principalmente a la radiactividad de los recursos extraídos en un caso y a la liberación en el medio de material radiactivo en el otro. Por lo tanto, sus aplicaciones prácticas exigirán que se establezcan acuerdos internacionales para la protección del público.

20. Una evaluación detenida de la radiactividad artificial presente en el gas natural obtenido a partir de la primera explosión circunscrita de tipo experimental ha indicado que si el gas se hubiera incorporado a la red de distribución que suministra gas a los siete millones de habitantes de la zona de Los Angeles, California (Estados Unidos), esa población habría recibido una dosis del orden de unos pocos diezmilésimos de la recibida anualmente de fuentes naturales. Sin embargo, el explosivo utilizado en este experimento no había sido diseñado para el estímulo de la producción de gas. Cabe esperar que los nuevos explosivos que se están perfeccionando en estos momentos permitan mantener la contaminación del gas a niveles tan bajos que se justifique utilizar el gas para consumo industrial e incluso doméstico.

21. Por su naturaleza misma, las explosiones que producen cráteres siempre liberan algo de radiactividad en la atmósfera. Hasta la fecha se han realizado pocas explosiones experimentales de este tipo; en la Unión Soviética se efectuó una para crear un depósito de agua. La tecnología actual permite producir cráteres por medio de explosiones en obras pequeñas situadas en zonas aisladas. Para obras de mayor envergadura, la seguridad de las poblaciones que viven cerca al emplazamiento de la obra así como la contaminación a largo plazo, constituyen factores de considerable peso que limitarán la ejecución de esos proyectos mientras no se hayan superado mediante importantes adelantos tecnológicos.

B. Irradiación médica^{5/}

22. Las radiaciones se usan en medicina con fines diagnósticos y con fines terapéuticos, particularmente en el tratamiento del cáncer. Las dosis locales recibidas por los pacientes en el curso de las investigaciones diagnósticas pueden variar de dosis más o menos equivalentes a las dosis medias recibidas en un año de fuentes naturales ($\approx 0,1$ rad) a una dosis máxima 50 veces superior. En cambio, los tratamientos con radiaciones pueden entrañar dosis miles de veces superiores a las que se reciben con fines diagnósticos y se aplican generalmente durante varias semanas a una parte del cuerpo solamente. La irradiación, tanto la que tiene fines diagnósticos como la que tiene fines terapéuticos, es en general externa, pero actualmente es cada vez mayor el número de procedimientos radiológicos que entrañan la administración de elementos radiactivos que dan lugar a irradiación interna.

^{5/} Para mayor información, véase el anexo B.

23. Las dosis medias recibidas por la población se determinan por combinación de las dosis administradas en los diversos procedimientos y el número de casos en que se aplican estos procedimientos. En los 10 años transcurridos desde que el Comité informó sobre este tema por última vez, la frecuencia de los exámenes radiológicos con fines de diagnóstico ha aumentado varios puntos porcentuales por año en varios países tecnológicamente adelantados, a medida que se ha ido contando con más servicios de atención médica y se han hecho nuevos adelantos en materia de técnicas e instrumental. La finalidad de la radiología médica es proporcionar el máximo de beneficios a la población, por lo que probablemente esté plenamente justificado el aumento de la frecuencia de los exámenes sobre todo en los países en desarrollo. Como es probable que los servicios modernos de rayos X no estén al alcance de gran parte de la población mundial, el número de esos servicios debe aumentar mucho para que las normas de salud locales mejoren sustancialmente.

24. La mayoría de los estudios acerca de la irradiación por razones médicas se han referido a las dosis recibidas por las células reproductivas. Como tales dosis, cuando se reciben después del fin de la vida reproductiva de la persona, no contribuyen a los efectos genéticos sobre las generaciones posteriores, los cálculos de la dosis recibida por cada individuo se ponderan según la esperanza de fecundidad del paciente, a fin de obtener un cálculo de la "dosis genéticamente significativa". Los cálculos obtenidos de esta manera varían según los países, según un factor de diez y van de menos de un décimo a más de la mitad de la dosis anual procedente de fuentes naturales. Como la irradiación terapéutica se efectúa en la mayoría de los casos después del término de la edad reproductiva de los pacientes, la mayor parte de la dosis se debe a la irradiación diagnóstica, y los distintos tipos de exámenes contribuyen en distinta medida a la dosis media. Es muy importante observar que algunas de las dosis más bajas que se han comunicado se refieren a países que tienen altas normas de atención médica, lo cual indica que, haciendo un uso juicioso de las técnicas y los equipos radiológicos modernos (sobre todo un estricto control del área irradiada), la atención médica de mejor calidad no entraña necesariamente dosis genéticamente significativas mayores que un quinto de la dosis anual procedente de fuentes naturales.

25. Hasta ahora se han hecho sólo tres estudios acerca de las dosis aplicadas a las células hematopoyéticas de la médula ósea. Los resultados de estos estudios indican dosis anuales medias por persona que varían entre un tercio y el duplo de la dosis anual procedente de fuentes naturales.

26. Hay bastante coincidencia entre los estudios efectuados en diversos países para determinar la magnitud de las dosis medias para ciertos exámenes dentro de un orden de magnitud. Sin embargo, esos estudios tienen además la ventaja de indicar en qué casos los cambios de las prácticas radiológicas o los adelantos técnicos pueden permitir reducciones apreciables la irradiación de la población, y de identificar a los grupos de pacientes que, habiendo recibido altas dosis de radiación, pueden requerir vigilancia constante para detectar el posible aumento de los efectos tardíos de las radiaciones. Sin embargo, es cuestionable si se debe seguir haciendo hincapié en la realización de esos estudios sobre dosis exclusivamente, o si no habría que prestar más atención a otros medios para lograr una dosis mínima aceptable para el paciente y compatible con las exigencias de la radiología para fines de diagnóstico.

27. Hay tres enfoques básicos que pueden contribuir de distinta manera a ese objetivo, según, en cada caso, la disponibilidad de fondos y de personal capacitado: programas educativos, estudios sobre la frecuencia de los exámenes y las dosis recibidas, y medidas de control administrativo. Los programas educativos pueden referirse a a) el personal radiológico y los métodos de trabajo cotidiano; b) el personal clínico que prescribe investigaciones que requieren el empleo de radiaciones y c) el público general, para crear conciencia de la necesidad de la protección radiológica. La organización de programas educativos de capacitación y la imposición de algunas medidas de control administrativo quizá sean mucho más importantes que los estudios sobre dosis, particularmente cuando los recursos son escasos.

C. Irradiación profesional^{6/}

28. Las personas pueden estar expuestas a las radiaciones en el curso de su trabajo. En los países industrialmente desarrollados, el número de personas que pueden recibir radiaciones en el curso de su trabajo varía, según los informes, entre uno y dos por cada mil habitantes. La observancia rigurosa de las recomendaciones de órganos como la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones, la Oficina Internacional del Trabajo, la Organización Mundial de la Salud y el Organismo Internacional de Energía Atómica asegura que la mayoría de los trabajadores reciban sólo dosis insignificantes y que muy pocos de ellos superen las dosis máximas permisibles recomendadas. La dosis anual máxima permisible equivale aproximadamente a 50 veces la dosis recibida de fuentes naturales.

29. La dosis media de radiación recibida anualmente por los trabajadores en la mayoría de los tipos de trabajo que entrañan exposición a radiaciones es, según los informes, inferior al séxtuplo de la dosis recibida de fuentes naturales, aunque algunas clases de trabajadores (entre ellos los radiógrafos industriales y las personas que trabajan con radio en medicina) tienden a recibir dosis varias veces superiores. En diversos países se ha estimado que la contribución anual de la irradiación profesional a la dosis genéticamente significativa de toda la población es inferior a un centésimo de la dosis anual procedente de fuentes naturales.

30. Las lesiones causadas por radiaciones son hoy muy raras y, cuando ocurren, generalmente pueden atribuirse a descuido. La mayoría de las lesiones comunicadas afectan a radiógrafos industriales, a investigadores que usan máquinas cristalográficas de rayos X y a personal médico que usa fluoroscopios de mano. Estas lesiones pueden prevenirse observando la práctica recomendada. Los mineros que trabajan bajo tierra, no sólo en minas de uranio sino también en algunos otros tipos de minas, están expuestos a materiales radiactivos presentes en el aire que respiran. Se están haciendo considerables esfuerzos por mejorar las condiciones del trabajo en las minas a fin de reducir esta forma de exposición a las radiaciones, que se considera relacionada con un aumento de la incidencia de cáncer de pulmón.

^{6/} Para mayor información, véase el anexo C.

D. Fuentes diversas^{7/}

31. El público en general puede recibir radiaciones ionizantes de una gran diversidad de fuentes. La fuente más difundida son los artículos de consumo privado que contienen materiales radiactivos y válvulas electrónicas que emiten rayos X, aunque no han sido producidas con ese objeto. Hasta hace pocos años, podían recibirse dosis considerables de relojes de pulsera luminosos y de aparatos de televisión en colores. Gracias a recomendaciones internacionales y a reglamentos nacionales, las radiaciones recibidas de estas fuentes han disminuido rápidamente. Aunque no se han publicado en fecha reciente estudios de la dosis genéticamente significativa anual, se estima actualmente que esta dosis es inferior al 1% de la dosis anual procedente de fuentes naturales.

^{7/} Para mayor información, véase el anexo D.

32. El material genético se compone de cromosomas - estructuras visibles a través del microscopio que se encuentran en los núcleos de las células - y de genes, es decir, las unidades funcionales que constituyen los cromosomas y que no pueden percibirse con el microscopio. Si bien estas estructuras se encuentran en todas las células del organismo, sólo las de las células reproductoras se transmiten al óvulo fecundado (cigoto) y, de ese modo, de una generación de individuos a la siguiente. Cuando se irradian las células reproductoras, pueden inducirse cambios en los genes o en los cromosomas de esas células que se transmiten luego a los descendientes del sujeto irradiado. Esos cambios genéticos son de distinta índole: a) mutaciones génicas, es decir, alteraciones de la función de los genes; b) aberraciones cromosómicas, resultantes de la ruptura y reorganización de los cromosomas, y c) alteración del número de cromosomas. Algunos de estos cambios dan origen a anomalías en los descendientes, que pueden variar desde las que son levemente perjudiciales a los trastornos altamente incapacitantes o letales.

33. Dado que no se dispone de suficientes datos sobre el ser humano, las estimaciones de los riesgos genéticos resultantes de la irradiación de las células reproductoras del ser humano se basan en resultados obtenidos con otras especies, particularmente el ratón.

A. Mutaciones génicas

34. Las dos etapas de las células reproductoras que más importancia tienen para determinar los riesgos genéticos son la espermatogónica en el macho y la del oocito en la hembra. Con grandes dosis agudas de radiación, la tasa de inducción de mutaciones recesivas en las células espermatogónicas oscila, según los cálculos, entre 100 y 5.000 mutaciones por rad ^{9/} por millón. Sin embargo, las dosis que reciben las poblaciones humanas en la mayoría de los casos, ya sean agudas (alta tasa de dosis en poco tiempo) o crónicas (baja tasa de dosis en un período prolongado) son pequeñas. Sobre la base de estudios experimentales se calcula que, en esas circunstancias, la tasa de inducción de mutaciones equivale aproximadamente a la tercera parte de la cifra mencionada. Por consiguiente, para los machos, una tasa de inducción de 30 a 1.500 mutaciones por millón por rad parece ser un valor más realista. Con grandes dosis agudas de radiación, el riesgo de mutaciones en las hembras que conciben poco tiempo después de la irradiación equivaldrá aproximadamente al doble del de los machos, en tanto que, con dosis bajas, el riesgo se reducirá por lo menos a la tercera parte, y, si la irradiación es crónica, a la vigésima parte del que cabría prever con una irradiación aguda con dosis altas. Si el ovario humano reacciona a la irradiación al igual que el del ratón - hipótesis que no se ha confirmado en absoluto - cabe prever que, si la mujer concibe después de transcurrido bastante tiempo luego de la irradiación, la frecuencia de mutaciones en los descendientes de la mujer irradiada podría aproximarse a cero.

^{8/} Para mayor información, véase el anexo E.

^{9/} Un rad es 10 veces la dosis anual recibida de fuentes naturales.

35. Las mutaciones génicas dominantes se manifiestan en la primera generación de descendientes de una población irradiada. Según ciertos datos, hay en el ser humano cerca de un millar de genes que pueden estar encuadrados en esa categoría. Se calcula que la tasa de inducción de mutaciones visibles dominantes en un hombre expuesto a dosis bajas de irradiación es de 2 por rad por millón de descendientes.

B. Aberraciones cromosómicas

36. Las aberraciones cromosómicas espontáneas son una fuente de considerable sufrimiento humano, pues a ellas se deben muchos de los abortos espontáneos, las malformaciones congénitas y los defectos mentales y físicos. Por ejemplo, la presencia de un pequeño cromosoma adicional (No. 21) es la causa del síndrome de Down, que lleva aparejado un retraso mental grave. Ultimamente se ha reunido gran cantidad de datos, en trabajos con ratones, sobre otro tipo de aberración: las translocaciones. Dicha aberración consiste en el intercambio de fragmentos entre dos cromosomas distintos. Se sabe que en el ser humano puede producir malformaciones análogas a las asociadas a la presencia de cromosomas adicionales, o causar la muerte temprana del feto. Estos efectos guardan relación con la presencia de translocaciones desequilibradas, en que puede haber pérdida de uno de los segmentos intercambiados y la adición de otro. Si es equilibrada, una translocación generalmente no tiene efectos nocivos para el portador, pero la mitad de sus descendientes probablemente recibirán una translocación desequilibrada.

37. En el ratón macho, el número de translocaciones equilibradas en la generación siguiente a la irradiación es más o menos proporcional a la dosis en los casos de irradiación aguda con dosis moderadas o altas de rayos X: unas 30 translocaciones por millón de descendientes por rad. En el ratón hembra, el número de translocaciones probablemente es semejante, pero aún no se dispone de mucha información al respecto. El número previsto de translocaciones desequilibradas (que ocasionan la muerte prematura o anormalidades perceptibles) es de 60 por millón de cigotos por rad luego de la irradiación de machos, y de 180 por millón por rad luego de la irradiación de hembras.

38. Al tratar de deducir de estas cifras el riesgo probable para el hombre en condiciones normales de irradiación hay que tener en cuenta una serie de factores. En primer lugar, ciertos datos obtenidos en estudios sobre aberraciones cromosómicas en células hematopoyéticas parecen indicar que, en este sentido, el hombre quizá sea dos veces más sensible a las radiaciones que el ratón. En segundo lugar, la irradiación crónica con rayos gamma tiene apenas un tercio de la eficacia de la irradiación aguda con rayos X en lo que se refiere a inducir translocaciones en el ratón macho, en tanto que la irradiación aguda con dosis muy pequeñas de rayos X, (tal como se utiliza para fines de diagnóstico médico), puede tener, por rad, aproximadamente un 25% de la eficacia observada con dosis mayores. Por lo tanto, el número probable de translocaciones equilibradas en los descendientes de machos irradiados es aproximadamente de 7 por millón por rad con una irradiación crónica de rayos gamma, y de unas 15 por millón por rad con una dosis baja y aguda de rayos X. El número previsto de cigotos con translocaciones desequilibradas equivaldrá aproximadamente al doble de esas cifras.

39. Los datos disponibles sobre el ser humano y el ratón parecen indicar que muchos de estos cigotos desequilibrados mueren en una etapa tan temprana del embarazo que ocasionan, a lo sumo, la omisión de un ciclo menstrual. Actualmente es difícil

calcular el número de sobrevivientes que darán origen a niños nacidos anormales, pero probablemente sea menos del 6%. Por consiguiente, cabría esperar de uno a dos niños anormales más por millón por rad de irradiación paterna en dosis pequeñas o de tasa baja. Aunque aún no se ha podido hacer este mismo cálculo con certeza para el caso de la irradiación materna, parece improbable que el riesgo sea mucho mayor.

40. Las translocaciones son sólo un tipo de aberración cromosómica. Las que ocurren espontáneamente (en forma equilibrada o desequilibrada) representan aproximadamente la tercera parte de todas las aberraciones cromosómicas observadas en los niños recién nacidos. Los datos disponibles sobre el ratón parecen indicar que probablemente muy pocas de las demás aberraciones (por ejemplo, adición o pérdida de cromosomas) se transmiten a la generación subsiguiente luego de la irradiación del macho porque las células reproductoras portadoras serán eliminadas antes de alcanzar la madurez. En la hembra, en cambio, se transmiten algunas. Así, pues, los datos disponibles sobre el ratón parecen indicar que la irradiación de hembras a una baja tasa de dosis da origen a ocho cigotos adicionales con el genotipo XO (es decir, con un solo cromosoma sexual) por millón de cigotos.

41. La mayoría de ellos mueren antes de nacer; los que sobreviven son estériles y presentan otros síntomas (síndrome de Turner). Indudablemente también puede darse la pérdida de otros cromosomas, pero ello probablemente esté vinculado a una muerte del embrión tan prematura que quizás no represente un riesgo significativo para los niños nacidos vivos. La adición de cromosomas constituye un importante componente de la carga genética humana. Esas adiciones pueden inducirse mediante la irradiación, especialmente de la mujer, pero por el momento no se dispone de pruebas concluyentes.

42. Así pues, en síntesis, las mutaciones génicas se inducen con frecuencias más altas que las aberraciones cromosómicas; además, éstas se eliminan al cabo de unas cuantas generaciones, en tanto que las mutaciones génicas pueden persistir a través de muchas más, por lo que afectan a un número mayor de individuos.

C. Estimación del daño genético en relación con la incidencia espontánea de enfermedades genéticas

43. Si bien los cálculos precedentes permiten determinar el riesgo de inducción de mutaciones, no constituyen por fuerza un método útil para evaluar el daño que sufre la sociedad. El Comité considera que también puede proporcionar una estimación del riesgo de mutación por unidad de dosis de radiación en relación con la incidencia natural de trastornos genéticos observados en el ser humano. Esto se intentó por primera vez en el informe de 1958 del Comité, pero la metodología no era suficientemente digna de confianza como para justificar la continuación de su empleo. Sin embargo, ciertos experimentos realizados últimamente con ratones parecen indicar que, en los machos, en condiciones de irradiación aguda, cinco importantes índices de mutación aumentan aproximadamente un 3% por rad. Para el caso de la irradiación crónica o en dosis pequeñas, el aumento previsto es aproximadamente del 1% por rad. Dado que todos estos índices de inducción de mutaciones se caracterizan por tener aproximadamente la misma tasa de aumento en relación con la tasa espontánea, el Comité estima que puede volver a utilizar este método de evaluación con renovada confianza, reconociendo empero que es preciso hacer muchas salvedades.

44. Se ha calculado que un 4% aproximadamente de todos los niños nacidos vivos sufren distintas formas de enfermedades determinadas genéticamente, de las que un 2% parecen obedecer las leyes básicas de la herencia. El 2% restante tiene un régimen de transmisión más complejo. Para fines de cálculo, se empleará un valor del 3%. Se supondrá, pues, que la incidencia natural de enfermedades hereditarias mantenidas por la transmisión de mutaciones es de 30.000 por millón de niños nacidos vivos.

45. Las mutaciones a que se debe esa incidencia aumentarían aproximadamente en 300 por rad si se expusiera a una irradiación crónica a los machos de la generación parental. Hasta un máximo de 20 de esas nuevas mutaciones contribuirían a la incidencia de enfermedades hereditarias entre los descendientes inmediatos de los machos irradiados, en tanto que la contribución de las mutaciones nuevas restantes se distribuiría entre muchas de las generaciones subsiguientes.

46. El sistema de inmunidad proporciona los principales mecanismos de defensa del cuerpo contra los agentes infecciosos o sus productos. El sistema reconoce todo lo que es extraño al organismo, y reacciona destruyéndolo o neutralizándolo: no distingue entre agentes extraños benéficos y agentes extraños nocivos. Por lo tanto, a veces obstaculiza el logro de objetivos convenientes desde el punto de vista médico, tales como la aceptación de injertos de tejido o trasplantes de órganos. También a veces los efectos netos de la reacción de inmunidad son nocivos de por sí, como en el caso de las alergias y otras afecciones inmunopatológicas. Otras veces el sistema falla y reacciona contra los componentes del propio organismo, provocando enfermedades autoinmunológicas.

47. A consecuencia de los muchos valores - "benéfico" y "perjudicial" - asociados al sistema de inmunidad, los efectos que en él surte la irradiación tienen gran importancia para el ser humano en muchos contextos. Por ejemplo, la depresión de la reacción de inmunidad mediante la irradiación reduce la capacidad de resistir a infecciones provocadas por bacterias, rickettsias y parásitos o de neutralizar toxinas bacterianas y es, por lo tanto, uno de los efectos perjudiciales de la irradiación. No obstante, resulta conveniente e incluso necesario deprimir la reacción de inmunidad de alguna forma para efectuar trasplantes de órganos. La supresión o el control de las alergias, la hipersensibilidad, los trastornos inmunopatológicos y las enfermedades autoinmunológicas son otros tanto objetivos médicos importantes.

48. El concepto de que el sistema de inmunidad surgió únicamente para proteger al organismo contra agentes extraños se ha puesto en tela de juicio. Hay un cúmulo cada vez mayor de datos procedentes de estudios experimentales con animales y de estudios clínicos con seres humanos que indican que en los enfermos de cáncer, las células malignas son reconocidas como extrañas por el sistema de inmunidad del individuo y los linfocitos del huésped pueden atacar a las células tumorales. También se ha reconocido la existencia de factores serológicos específicos que reaccionan contra las células cancerosas, y en algunos casos esos factores pueden proteger a las células cancerosas contra la acción de linfocitos potencialmente letales. Según los últimos datos obtenidos sobre esta cuestión, la reacción de inmunidad se produce contra un cáncer ya existente, y por lo menos en algunos casos es evidente que la depresión radioinducida de la inmunidad permite que el cáncer se desarrolle más rápidamente. Una cuestión aún más crítica no resuelta todavía es la de si la supresión de la reacción de inmunidad puede ser un factor importante en la radioinducción del cáncer.

49. Se han realizado amplios estudios sobre los efectos de las radiaciones en la reacción de inmunidad en animales de laboratorio, pero muy pocas observaciones sobre la radiosensibilidad de las células que intervienen en la reacción de inmunidad del ser humano. Se dispone de algunos datos de Hiroshima y Nagasaki, así como sobre pacientes que han sido sometidos a una radioterapia intensa por tumores malignos. Los estudios comparativos realizados con muchas especies animales indican

^{10/} Para mayor información, véase el anexo F.

que la radiosensibilidad de determinado tipo celular del sistema de inmunidad es análoga en la mayoría de las especies estudiadas. Es probable que los resultados de muchos de estos estudios puedan aplicarse directamente al hombre. La disponibilidad, relativamente reciente, de técnicas in vitro para analizar la reacción de inmunidad quizá permita ahora estudiar directamente la relación dosis-efecto en linfocitos humanos y otros tipos celulares que intervienen en la reacción de inmunidad en el hombre. Sin embargo, aun cuando se determinara que, tanto en el ser humano como en los animales, ciertos tipos celulares tienen una radiosensibilidad análoga, no se podría inferir, sin temor a errar, que la reacción de inmunidad presentará en unos y otros una relación dosis-efecto análoga, ya que intervienen muchos factores que no pueden tenerse en cuenta únicamente al nivel celular. Entre ellos cabe citar la medida de la exposición anterior del individuo al antígeno (la reacción secundaria suele ser relativamente más radiorresistente in vivo), el tipo y la dosis del antígeno, y el intervalo entre el estímulo antigénico y la irradiación.

50. El sistema de inmunidad aparentemente posee poderosos factores intrínsecos de protección, de modo que puede soportar lesiones considerables y recuperarse de los daños sufridos. Si bien se han observado efectos en linfocitos humanos en cultivo hasta con dosis de 10 rads 11/, es improbable que las lesiones perceptibles sufridas por el sistema de inmunidad, tales como las alteraciones en la formación de anticuerpos ocasionadas por dosis de decenas de rads recibidas en todo el cuerpo, sean el efecto que suscite mayor preocupación. Con dosis del orden de 100 rads, administradas en todo el cuerpo, los daños sufridos por el sistema de inmunidad aumentan la susceptibilidad a las infecciones, y cuando esas dosis se aproximan a los 200 rads o los sobrepasan, el daño sufrido es un efecto muy importante de la irradiación que se manifiesta, por ejemplo, en el aumento del riesgo de la mortalidad por infección.

11/ Un rad ~ 10 veces la dosis anual recibida de fuentes naturales.

CAPITULO IV

RADIOCARCINOGENESIS^{12/}

51. Si bien los experimentos con animales parecen indicar que prácticamente todos los tejidos de los mamíferos pueden sufrir transformaciones malignas si reciben dosis suficientes de radiaciones, el número de personas expuestas a dosis considerables es tan pequeño que, en el hombre, la relación entre la dosis y la incidencia de tumores sólo puede estudiarse en los tejidos más sensibles a las radiaciones. Los grupos más numerosos y más informativos de sujetos irradiados siguen siendo, con mucho, los de sobrevivientes de los bombardeos atómicos de Hiroshima y Nagasaki. A éstos deben agregarse varios grupos de pacientes tratados con radiaciones y observados durante varias décadas, y unos pocos grupos de trabajadores expuestos a radiaciones en su ocupación, especialmente los obreros que trabajan en las minas subterráneas de uranio. Los niños expuestos in utero durante exámenes radiológicos de la madre constituyen una categoría especial.

52. La leucemia es la más conocida de las enfermedades malignas radioinducidas. Todos los datos indican que la incidencia de ciertos tipos de leucemia aumenta con la dosis a consecuencia de la irradiación postnatal a altas tasas de irradiación en la gama de dosis de 50 a 500 rads ^{13/}. Con dosis mayores, el aumento de la frecuencia disminuye, posiblemente porque las radiaciones destruyen un número cada vez mayor de las células que podrían volverse leucémicas. Las leucemias radioinducidas tienden a ocurrir con la mayor frecuencia unos pocos años después de la irradiación; al cabo de 25 años, la frecuencia tiende a retornar a los niveles observados cuando no ha habido irradiación. Para ese lapso se han observado entre 15 y 40 casos de leucemia por rad ^{14/} por millón de personas expuestas.

53. En Hiroshima, parece haberse inducido cáncer de pulmón con dosis calculadas, sobre la base de estimaciones sólo aproximativas, en el equivalente de unos 30 rads de radiación externa con rayos gamma administrados a una alta tasa de dosis; además, la incidencia parece aumentar con la dosis hasta un nivel de unos 100 rads. La mayor incidencia de este tipo de cáncer entre las personas irradiadas se ha puesto de manifiesto también en otros estudios, pero aún no se sabe si el aumento, que empieza unos 15 años después de la irradiación, se mantiene durante mucho tiempo o si finalmente disminuye. Sin embargo, a simple vista los datos parecen indicar que durante los 25 años inmediatamente posteriores a la irradiación con rayos gamma a alta tasa de dosis ocurren de 10 (a 250 rads) a 40 (a 30 rads) casos de cáncer por rad por millón de personas irradiadas.

54. También existen datos sobre la inducción de cáncer de la glándula tiroidea y de cáncer de mama. Como las personas afectadas por estos tipos de cáncer sobreviven durante mucho tiempo, los datos sobre mortalidad revelan la incidencia de estos tumores sólo muy a largo plazo. Así, pues, si bien la mortalidad por cáncer de mama en Hiroshima parece indicar un riesgo de 6 a 20 casos por millón de personas por rad

^{12/} Para mayor información, véanse los anexos G y H.

^{13/} Un rad ~ 10 veces la dosis anual recibida de fuentes naturales.

^{14/} Este cálculo se aplica a las dosis de rayos gamma de 60 a 400 rads.

durante los primeros 25 años siguientes a la irradiación entre las mujeres irradiadas con 60 a 400 rads, es probable que este valor peque por defecto. En cuanto al cáncer del tiroides, se ha obtenido un valor medio de unos 40 casos por millón por rad en la misma gama de dosis durante el mismo período sobre la base de datos de morbilidad más fidedignos, pero ese valor tiene un amplio margen de error debido al reducido número de casos observados. En cuanto a los tumores de pulmón, no hay información acerca de si el aumento de la incidencia anual de tumores en las poblaciones irradiadas disminuye en algún momento.

55. Muchos de los estudios de personas expuestas a irradiación externa confirman el hecho de que también aumentan otros tipos de cáncer considerados en conjunto, aunque no es posible determinar por ahora qué tipos particulares de cáncer aumentan en frecuencia. Entre los sobrevivientes del bombardeo atómico de Hiroshima se observa una clara tendencia a la mortalidad por causa de enfermedades malignas distintas de la leucemia y del cáncer de pulmón y de mama a medida que aumenta la dosis, pero es difícil estimar cuantitativamente la tasa de aumento porque no se sabe qué dosis recibieron los tejidos afectados por tumores. Sólo se puede calcular provisionalmente, sobre la base de estimaciones imprecisas de las dosis tisulares, que se producen unos 40 casos de cáncer (fuera de la leucemia y el cáncer de mama y de pulmón) por rad por millón de personas durante los primeros 25 años después de una exposición a 250 rads. En este caso tampoco se sabe cuántos más casos pueden aparecer después de 25 años.

56. Al considerar estos valores hay que tener claramente presente que se basan en observaciones hechas después de la administración de dosis de radiaciones de por lo menos varias decenas de rads a alta tasa de dosis. Estas tasas de dosis y a veces las propias dosis, son análogas a las que pueden recibirse en el curso de ciertos procedimientos radiológicos efectuados por indicación médica, pero muy superiores a las dosis de radiación que recibimos de las fuentes del medio, tanto naturales como artificiales. No se sabe a ciencia cierta si las dosis de la magnitud de las recibidas de fuentes naturales pueden tener efectos parecidos. Los experimentos con animales parecen indicar que, excepto cuando el tejido irradiado tiene una susceptibilidad a la radioinducción de tumores mucho mayor que la observada en el hombre, el número de tumores por unidad de dosis debería ser menor con dosis muy bajas. Estos experimentos indican también que las radiaciones aplicadas continuamente o en varias fracciones son normalmente menos carcinogénicas que si se aplican en una sola dosis en poco tiempo. Por consiguiente, es probable que las cifras de los párrafos precedentes sobreestimen el riesgo que entrañan las dosis y las tasas de dosis análogas a las que se reciben de fuentes ambientales.

57. Los estudios de personas expuestas a grandes dosis de radiación interna son escasos. Estos estudios se refieren a trabajadores y pacientes contaminados con isótopos de radio y a mineros expuestos al radón. El radio 226 se deposita en los huesos, irradia los osteoblastos en forma continua y a una tasa decreciente durante décadas después de ser absorbido por el cuerpo y produce tumores óseos. El radio 224 causa efectos análogos luego de un período más corto de irradiación.

58. Entre los mineros expuestos a altos niveles de radón y de sus descendientes radiactivos se observa una incidencia muy alta del cáncer de pulmón. La frecuencia parece aumentar en proporción con el nivel y la duración de la exposición. La gama de dosis irradiaciones dentro de la que se ha registrado un aumento de la incidencia corresponde a dosis de rayos alfa de por lo menos varios cientos de rads. Sin embargo, la dosimetría resulta difícil y la función de otros factores carcinogénicos, tales como el hábito de fumar, no se han evaluado cabalmente.

59. Los efectos de la irradiación prenatal han sido objeto de muchas investigaciones. Varios estudios amplios de niños que fueron expuestos a radiaciones por razones médicas antes de nacer y que deben haber recibido dosis a una alta tasa de a lo sumo unos pocos rads indican que la irradiación prenatal está vinculada a un aumento significativo del riesgo de tumores en los diez primeros años de vida. Por consiguiente, la medida en que el aumento del riesgo de tumores en las personas irradiadas por razones médicas se debe a las radiaciones más que al estado que motivó la irradiación debe considerarse todavía una cuestión no resuelta.

HOW TO OBTAIN UNITED NATIONS PUBLICATIONS

United Nations publications may be obtained from bookstores and distributors throughout the world. Consult your bookstore or write to: United Nations, Sales Section, New York or Geneva.

COMMENT SE PROCURER LES PUBLICATIONS DES NATIONS UNIES

Les publications des Nations Unies sont en vente dans les librairies et les agences dépositaires du monde entier. Informez-vous auprès de votre librairie ou adressez-vous à: Nations Unies, Section des ventes, New York ou Genève.

КАК ПОЛУЧИТЬ ИЗДАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

Издания Организации Объединенных Наций можно купить в книжных магазинах и агентствах во всех районах мира. Наводите справки об изданиях в нашем книжном магазине или пишите по адресу: Организация Объединенных Наций, Секция по продаже изданий, Нью-Йорк или Женева.

COMO CONSEGUIR PUBLICACIONES DE LAS NACIONES UNIDAS

Las publicaciones de las Naciones Unidas están en venta en librerías y casas distribuidoras en todas partes del mundo. Consulte a su librero o dirijase a: Naciones Unidas, Sección de Ventas, Nueva York o Ginebra.
