

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

ASAMBLEA GENERAL

DOCUMENTOS OFICIALES: TRIGESIMO SEPTIMO PERIODO DE SESIONES

SUPLEMENTO No. 45 (A/37/45)



NACIONES UNIDAS

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

ASAMBLEA GENERAL

DOCUMENTOS OFICIALES: TRIGESIMO SEPTIMO PERIODO DE SESIONES
SUPLEMENTO No. 45 (A/37/45)



NACIONES UNIDAS

Nueva York, 1982

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>
I. INTRODUCCION	1 - 10	1
II. RESUMEN DE LAS PRINCIPALES CONCLUSIONES	11 - 62	3
A. EVALUACIONES DE LOS NIVELES DE RADIACION Y DE LAS DOSIS	12 - 39	3
1. Fuentes naturales	15 - 19	4
2. Fuentes artificiales	20 - 39	5
B. NOVEDADES DE RADIOBIOLOGIA	40 - 62	11
1. Efectos genéticos	43 - 48	11
2. Efectos somáticos	49 - 62	12
III. TEXTO PRINCIPAL DEL INFORME	63 - 235	16
A. CANTIDADES Y UNIDADES	64 - 70	16
B. NIVELES Y DOSIS DE RADIACION	71 - 169	17
1. Modelos de evaluación de dosis	71 - 77	17
2. Exposición a las radiaciones naturales, incluidas las fuentes modificadas por factores tecnológicos, y a bienes de consumo emisores de radiaciones	78 - 116	20
3. Irradiación debida a explosiones nucleares	117 - 123	30
4. Irradiación debida a la producción de energía nuclear	124 - 138	32
5. Irradiación profesional	139 - 145	36
6. Irradiación con fines médicos	146 - 156	39
7. Recapitulación y conclusiones	157 - 169	41
C. EFECTOS DE LAS RADIACIONES	170 - 235	44
1. Efectos genéticos de las radiaciones	170 - 188	44
2. Efectos no estocásticos de la irradiación en tejidos normales	189 - 206	49
3. Acortamiento de la vida causado por las radiaciones	207 - 221	54
4. Efectos biológicos de las radiaciones en combinación con otros agentes	222 - 232	57
5. Recapitulación y conclusiones	233 - 235	60

APENDICES

I. LISTAS DE MIEMBROS DE DELEGACIONES NACIONALES	62
II. LISTA DE EXPERTOS Y CONSULTORES CIENTIFICOS QUE HAN COOPERADO CON EL COMITE EN LA PREPARACION DEL INFORME	64
III. LISTA DE INFORMES RECIBIDOS POR EL COMITE	65

I. INTRODUCCION

1. Desde que fue creado, en 1955, el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas 1/ ha informado anualmente a la Asamblea General y, a intervalos no regulares, ha presentado informes más amplios con anexos científicos detallados. El presente es el octavo informe de esa serie 2/. Consta de una reseña y un texto principal, en que se exponen las conclusiones a que se llegó en los debates del Comité, así como de 12 anexos científicos en que se examinan con gran detalle los procedimientos y la información científica en que se basan esas conclusiones.

2. Aunque el Comité ha procurado presentar sistemáticamente información sobre las cuestiones que se le confiaron para su examen, en el presente informe no se han incluido todas las fuentes de exposición a las radiaciones ni todos los efectos de las radiaciones. El informe se ocupa específicamente de temas que, a la luz de trabajos anteriores, se considera necesario examinar debido a la evolución de los conocimientos científicos pertinentes. Así, algunos anexos son una versión actualizada de los que figuraban en el informe de 1977; en otros se han introducido modificaciones sobre la base de muchos años de trabajo; hay otras cuestiones que se examinan básicamente por primera vez.

1/ El Comité Científico fue creado por la Asamblea General en su décimo período de sesiones. El mandato del Comité fue enunciado en la resolución 913 (X). Originalmente el Comité estuvo integrado por los siguientes Estados Miembros: Argentina, Australia, Bélgica, Brasil, Canadá, Checoslovaquia, Egipto, Estados Unidos de América, Francia, India, Japón, México, el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, Suecia, y la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas. En virtud de su resolución 3154 C (XXVIII), la Asamblea General decidió aumentar el número de miembros del Comité para que incluyera a estos otros Estados: Alemania, República Federal de, Indonesia, Perú, Polonia y Sudán.

2/ Los informes sustantivos anteriores presentados por el Comité a la Asamblea General figuran en los siguientes documentos: Documentos Oficiales de la Asamblea General, décimotercer período de sesiones, Suplemento No. 17 (A/3838); ibid., decimoséptimo período de sesiones, Suplemento No. 16 (A/5216); ibid., décimonoveno período de sesiones, Suplemento No. 14 (A/5000); ibid., vigésimo primer período de sesiones, Suplemento No. 14 (A/6314 y Corr.1); ibid., vigésimo cuarto período de sesiones, Suplemento No. 13 (A/7613 y Corr.1); ibid., vigésimo segundo período de sesiones, Suplemento No. 25 (A/8725 y Corr.1); ibid., trigésimo segundo período de sesiones, Suplemento No. 40 (A/34/40). En el contexto del presente documento, se hará referencia a ellos como informes de 1958, 1962, 1964, 1966, 1969, 1972 y 1977, respectivamente. En 1972 se publicaron también informes con apéndices y anexos científicos con el título de: Ionizing Radiation: Levels and Effects, Volumen I: Levels (Publicación de las Naciones Unidas, No. de venta E.72.IX.17) y Volumen II: Efectos (Publicación de las Naciones Unidas, No. de venta E.72.IX.18). En 1977 el informe con apéndices y anexos científicos apareció como: Fuentes y Efectos de las Radiaciones Ionizantes (Publicación de las Naciones Unidas, No. de venta S.77.IX.1).

3. Conforme a la práctica establecida sólo se presentan a la Asamblea General el resumen y el texto principal del informe. El informe completo con los anexos científicos se distribuye al mismo tiempo como publicación separada 3/ para darle amplia difusión en la comunidad científica, donde los informes anteriores del Comité han sido considerados como fuentes autorizadas de información independiente y de evaluación. El Comité desea señalar a la atención de la Asamblea General que la separación del texto principal del informe de sus anexos científicos se debe simplemente a razones de conveniencia. Las pruebas documentales que figuran en los anexos como base de las conclusiones del Comité revisten la mayor importancia.

4. El presente informe se preparó en el lapso comprendido entre los períodos de sesiones 27° y 31° del Comité Científico. En el 27° período de sesiones, M. Klímek (Checoslovaquia), F.E. Stieve (República Federal de Alemania) y K. Sundaram (India) desempeñaron los cargos de Presidente, Vicepresidente y Relator, respectivamente. En los períodos de sesiones 28° y 29° esas mismas funciones fueron desempeñadas, respectivamente, por F.E. Stieve (República Federal de Alemania), Z. Jaworowski (Polonia) y D. Beninson (Argentina); y en los períodos de sesiones 30° y 31°, Z. Jaworowski (Polonia), D. Beninson (Argentina) y T. Kumatori (Japón) actuaron como Presidente, Vicepresidente y Relator, respectivamente. Todos esos períodos de sesiones se celebraron en Viena.

5. La labor del Comité se llevó a cabo en reuniones de científicos especialistas, quienes, en su carácter de representantes oficiales o como asesores científicos de las delegaciones nacionales examinaron, discutieron y enmendaron los documentos de trabajo preparados por la Secretaría a solicitud del Comité. Los nombres de esos especialistas que concurren a uno o más de los períodos de sesiones durante la preparación del informe figuran en el apéndice I.

6. En sus trabajos, el Comité contó con la ayuda de un pequeño grupo de funcionarios - científicos y expertos consultores - designados por el Secretario General. Al aprobar el presente informe, el Comité asume plena responsabilidad de su contenido y desea dejar constancia de la asistencia recibida de aquellos científicos que estuvieron encargados del examen y el análisis preliminares de los datos. Los nombres de esos científicos y consultores se indican en el apéndice II. Mucho debe el Comité a su colaboración y asesoramiento científico.

7. En el apéndice III figura la información recibida por la Secretaría del Comité entre el 23 de abril de 1977 y el 26 de mayo de 1982, de Estados Miembros de las Naciones Unidas, miembros de organismos especializados y del Organismo Internacional de Energía Atómica, así como de los propios organismos. La información recibida previamente fue incluida en informes anteriores a la Asamblea General. Todos esos datos, obtenidos oficialmente por el Comité, fueron complementados por un gran volumen de información procedente de publicaciones científicas de acuerdo con la cual se interpretaron. Sólo en muy pocos casos se utilizaron también contribuciones inéditas de diversos científicos así como información presentada por diversas personas u organizaciones atendiendo a pedidos concretos del Comité. El Comité agradece esas contribuciones.

3/ Publicación de las Naciones Unidas, No. de venta E.82.IX.8.

8. Asistieron a los períodos de sesiones del Comité que se examinan representantes del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones (CIPR) y la Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas (CIUR). El Comité reconoce y agradece la contribución de esos organismos a las discusiones en que se basó la preparación del informe.

9. En cumplimiento de su mandato, el Comité ha formulado planes para continuar su examen de los niveles de radiación a los que se ve expuesta la población mundial actualmente, o a los que puede verse expuesta en el futuro, y los riesgos a que podría dar origen tal exposición. El Comité se propone seguir estudiando cuidadosamente aquellos sectores que merezcan una atención especial debido a su pertinencia científica o a su importancia práctica. El Comité cree que de esos estudios se derivará también una contribución significativa a las actividades del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente con el que el Comité se propone mantener una estrecha relación funcional.

10. En las secciones siguientes el Comité resume las principales conclusiones a que se llega en el presente informe a la luz de informes sustantivos anteriores pasando luego a examinar en detalle el resultado de los estudios que se efectuaron en determinados sectores en el campo tanto de la física como de la biología.

II. RESUMEN DE LAS PRINCIPALES CONCLUSIONES

11. EL PRESENTE INFORME SE HA ORGANIZADO DE MANERA QUE PUEDA LEERSE A VARIOS NIVELES DE DETALLE Y COMPLEJIDAD. EL PRESENTE CAPITULO RESUME LAS CONCLUSIONES MAS IMPORTANTES DE LOS NUMEROSOS Y AMPLIOS ESTUDIOS REALIZADOS EN DIFERENTES CAMPOS, ESPECIALMENTE A LA LUZ DE LOS INFORMES QUE SE HAN SOMETIDO A LA ASAMBLEA GENERAL CON ANTERIORIDAD. EL TEXTO APUNTA A SUBRAYAR LAS PRINCIPALES TENDENCIAS QUE SE HAN VENIDO MANIFESTANDO A LO LARGO DE LOS AÑOS MEDIANTE EVALUACIONES AMPLIAS Y GENERALES.

A. EVALUACIONES DE LOS NIVELES DE RADIACION Y DE LAS DOSIS

12. Como en los anteriores, en el presente informe el Comité examina de manera sistemática todas las fuentes de radiaciones ionizantes que dan lugar a la radiación humana, a saber, fuentes naturales, explosiones nucleares, producción de energía nuclear, utilización de las radiaciones para fines médicos, industriales y de investigación, y bienes de consumo emisores de radiaciones. El informe se refiere tanto a la irradiación profesional (es decir, los casos de exposición ocurridos durante el trabajo), como no profesional. Los resultados de las evaluaciones se expresan de dos maneras respecto de cada fuente de radiaciones ionizantes. Por una parte, se expresan en dosis individuales. Estas ponen de manifiesto la importancia relativa que, desde el punto de vista del individuo, tienen el tipo de trabajo, el lugar de residencia y determinados hábitos particulares. Por otra parte, también se utilizan las dosis colectivas. Puesto que éstas equivalen a la suma de las dosis individuales emanadas de una misma fuente, constituyen un indicador de los efectos sanitarios generales de dicha fuente. La utilización de las dosis colectivas permite comparar los efectos causados por una amplia gama de fuentes o prácticas diferentes que causan emisiones de radiaciones ionizantes.

13. Al iniciar sus actividades, el Comité adoptó un supuesto de base para evaluar las dosis, supuesto que se sigue utilizando actualmente. Se trata de la hipótesis de que existe una relación directamente proporcional entre las dosis y las probabilidades de que se produzcan ciertos efectos (cánceres o enfermedades genéticas) en el caso de los valores relativamente bajos de las dosis y de las tasas de dosis que en general se examinan en el presente informe. La hipótesis está destinada a aplicarse no a los individuos, sino a grandes grupos humanos compuestos de personas de ambos sexos y de diversas edades. La gran cantidad de datos experimentales y epidemiológicos disponibles no invalidan la hipótesis en cuestión. Existen motivos para pensar que ésta no subestima los riesgos propios de las dosis y de las tasas de dosis reducidas que interesan al Comité e incluso es posible que los sobreestime.

14. El presente informe difiere de los informes anteriores en un aspecto importante. En lugar de calcular tan solo las dosis absorbidas por un reducido número de tejidos importantes (por ejemplo, las gónadas, los pulmones y la médula ósea), en esta oportunidad el Comité ha evaluado el efecto combinado de las dosis recibidas por todos los órganos y tejidos y los ha expresado en una medida llamada "dosis equivalente efectiva" (véanse los párrafos 66 a 69), que a juicio del Comité refleja más adecuadamente el riesgo total que corren los grupos humanos irradiados. Por consiguiente, en algunos casos la evaluación de la importancia relativa de algunas sustancias radiactivas que se hace en el presente informe difiere de las evaluaciones hechas en los anteriores informes del Comité.

1. Fuentes naturales

15. Las dosis anuales medias recibidas por la humanidad provienen principalmente de fuentes de radiación naturales. Estas incluyen las fuentes externas, tales como los rayos cósmicos y las sustancias radiactivas que se encuentran en la tierra y en los materiales de construcción, y las fuentes internas, que resultan de la inhalación e ingestión de las sustancias radiactivas naturales que se encuentran en el aire y en los alimentos. Actualmente se reconoce que la inhalación es la vía de absorción más importante; la irradiación externa y la ingestión le siguen de cerca en orden de importancia. La mayor parte de la dosis equivalente efectiva resultante de la inhalación se debe al radón, gas noble radiactivo que a menudo se encuentra en concentraciones relativamente elevadas en el aire contenido en ambientes interiores.

16. Lo que distingue a la irradiación natural es que afecta a toda la población del globo y que se ha experimentado y se sigue experimentado en cantidades relativamente constantes durante períodos extremadamente largos. De ahí que pueda utilizarse como nivel de referencia para efectuar comparaciones con las fuentes de artificiales de radiaciones ionizantes.

17. La dosis emanada de fuentes de radiación naturales que un individuo dado puede absorber depende de diversos factores, incluidos el lugar de residencia, el tipo de vivienda y la altura. No obstante, se considera que la mayor parte de la población del mundo recibe una gama relativamente limitada de dosis emitidas por fuentes de radiación naturales, ya que su valor probablemente fluctúa sólo entre 0,5 y dos veces el valor medio.

18. Con todo, cuando uno de los componentes de una dosis emanada de una fuente de radiación natural se examina separadamente, por lo general se aprecia que algunas personas están expuestas a niveles de radiación muy superiores al promedio. Entre éstas figuran las personas que viven en zonas cuyos suelos y piedras tienen un

elevado contenido de sustancias radiactivas, quienes viven en edificaciones donde hay grandes concentraciones de radón o a gran altura por sobre el nivel del mar y las que ingieren alimentos que contienen concentraciones especialmente elevadas de sustancias radiactivas.

19. El Comité ya ha examinado las exposiciones a radiaciones emanadas de fuentes naturales en sus informes de 1958, 1962, 1966, 1972 y 1977. Debido al creciente número de mediciones, la evaluación de las dosis ha adquirido un carácter crecientemente preciso, especialmente por lo que se refiere a la irradiación externa. El hecho de que en el presente informe las dosis se expresen desde el punto de vista de la "radiación equivalente efectiva" permite hacer hincapié en la importancia de la inhalación en tanto que vía de absorción. Actualmente se calcula, que en promedio, cerca de la mitad de la dosis equivalente efectiva emanada de fuentes de radiación naturales, se debe a la presencia del radón en el aire contenido dentro de edificios.

2. Fuentes artificiales

20. La exposición a fuentes de radiación naturales varía poco de un año a otro y afecta al conjunto de la población del mundo más o menos con la misma intensidad. Por el contrario, la radiación emanada de fuentes de radiación artificiales puede variar de manera significativa con el transcurso del tiempo y las exposiciones resultantes pueden diferir considerablemente de un grupo demográfico a otro.

a) Irradiación médica

21. Desde el punto de vista cuantitativo, en la actualidad la irradiación médica ocupa el primer lugar entre las fuentes artificiales de exposición humana. En medicina las radiaciones se utilizan para fines diagnósticos (por ejemplo, sobre la base de los rayos X o de los exámenes propios de la medicina nuclear) y para tratar enfermedades, en particular los cánceres. Las dosis que reciben los pacientes son extremadamente variadas y van desde dosis muy pequeñas, como las que se suelen administrar con motivo de muchos de los exámenes que se realizan con fines de diagnóstico, hasta dosis muy elevadas, como las que se administran en el caso de la radioterapia clínica. Habida cuenta de que en las exposiciones de origen médico normalmente no irradian sino partes limitadas del organismo, en el pasado ha sido difícil compararlas con otras categorías de exposición. En el presente informe se utiliza el concepto de dosis equivalente efectiva con objeto de aminorar dichas dificultades.

22. Las dosis individuales anuales varían entre cero, en el caso de los pacientes no expuestos que no reciben exposiciones con fines terapéuticos o de diagnóstico, hasta las dosis cuya magnitud es varias decenas de miles de veces superior a la dosis anual media recibida de resultados de las fuentes de radiación naturales, como las que se administran a los pacientes sometidos a radioterapia. Habida cuenta de lo anterior, las dosis medias no suelen ser demasiado significativas; con todo, las dosis colectivas pueden servir para formarse una idea aproximada de los efectos causados por las fuentes de origen médico. En los países industrializados la dosis equivalente efectiva colectiva anual causada por los rayos X y por la irradiación administrada con fines de diagnóstico en el marco de la medicina nuclear podría corresponder más o menos a la mitad de la dosis colectiva anual causada por las fuentes de radiación naturales. El Comité no ha evaluado la importancia de las dosis administradas a pacientes con fines terapéuticos. Con todo, sería necesario

evaluar este componente de otra manera ya que por lo general se refiere a personas de edad avanzada. En efecto, como se trata de personas con una menor esperanza de vida, también son menores las posibilidades de que sufran determinadas consecuencias a largo plazo o consecuencias radioinducidas latentes.

23. La disponibilidad de datos acerca de los países en desarrollo es reciente y se debe en parte a la asistencia de la Organización Mundial de la Salud. Dichos datos ponen de manifiesto que en los países en desarrollo estos exámenes se realizan con una frecuencia diez veces menor que en los países industrializados. En consecuencia, la dosis equivalente efectiva colectiva anual correspondiente a las exposiciones médicas en todo el mundo podría ascender a aproximadamente la quinta parte de la dosis equivalente efectiva colectiva anual causada por las fuentes de radiación naturales. Si bien las dosis individuales absorbidas por los trabajadores que participan en la utilización médica de la radiación podrían ser significativas, la contribución global de la irradiación profesional a la dosis colectiva es insignificante si se la compara con la que resulta de la irradiación con fines terapéuticos, lo que se debe al reducido número de trabajadores que es necesario considerar.

24. El Comité ya ha presentado datos sobre la irradiación con fines médicos en sus informes de 1958, 1962, 1972 y 1977. No obstante, en vista de la escasa información disponible y del carácter incierto de las evaluaciones de las dosis, resulta difícil evaluar las tendencias de la dosis colectiva con el tiempo. Con el transcurso del tiempo en los países industrializados se han realizado cada vez más exámenes; por otra parte, el constante perfeccionamiento de los equipos durante el período en examen debería haber permitido una disminución de la dosis por examen y es posible que en alguna medida ambas tendencias se hayan neutralizado mutuamente. Para los efectos de las comparaciones que se hacen en el presente informe, el Comité ha partido del supuesto de que la dosis colectiva anual causada por la irradiación de origen médico se ha mantenido más o menos constante.

b) Explosiones nucleares

25. Los materiales radiactivos artificiales provenientes de los ensayos de armas nucleares en la atmósfera constituyeron la causa de la considerable contaminación del medio ambiente. Originalmente gran parte de estos materiales se incorporó en la atmósfera superior y desde ahí se desplazó lentamente, primero a la atmósfera inferior y por último a la tierra, mediante un proceso conocido como precipitación radiactiva. Los radionucleidos presentes en la precipitación radiactiva dan lugar a irradiación por inhalación mientras se encuentran en la capa de aire más próxima a la superficie de la tierra, o por irradiación externa e ingestión cuando se depositan en las plantas o en el suelo.

26. Se han venido realizando explosiones nucleares desde 1945. Entre 1954 y 1958 y entre 1961 y 1962 se llevaron a cabo intensos programas de ensayos nucleares en la atmósfera. Desde 1964 se han producido explosiones adicionales en la atmósfera, la última de ellas en octubre de 1980. También se han realizado y se siguen realizando explosiones nucleares subterráneas, aunque en este caso la contaminación ambiental resultante es relativamente poco importante. Al igual que en todos los informes anteriores, el Comité ha evaluado la irradiación sufrida por la población mundial como consecuencia de los ensayos nucleares en la atmósfera. Pese a que cada explosión nuclear produce varios cientos de radionucleidos, sólo algunos de éstos contribuyen de manera significativa a la irradiación del hombre; en efecto, la mayor parte de los radionucleidos se desintegran con relativa rapidez o se producen en cantidades muy reducidas. En el presente informe el Comité ha

examinado 21 radionucleidos, incluidos el yodo-131, el estroncio-90, el cesio-137 y el carbono-14. Debido a la enorme gama de tiempos de desintegración, las dosis resultantes de un ensayo nuclear no se administran al mismo ritmo. Por ejemplo, las dosis causada por el yodo-131 se administran al cabo de semanas, mientras que las causadas por el estroncio-90 y el cesio-137 se reciben durante decenios; las causadas por el carbono-14 se administran durante miles de años.

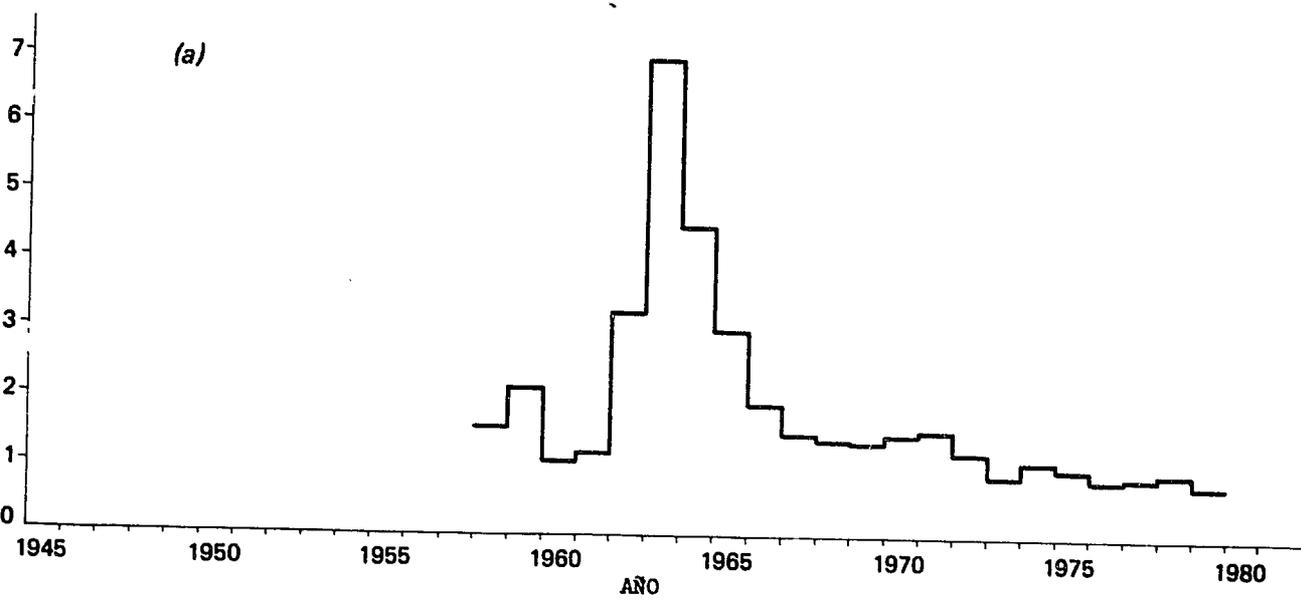
27. En todo momento las dosis también dependen del lugar en que se realiza la evaluación. Puesto que la precipitación radiactiva varía de acuerdo con la latitud, en general las dosis imperantes en el hemisferio austral han sido unas cuatro veces más reducidas que las del hemisferio boreal. Además, en algunos casos la precipitación local (en las inmediaciones del lugar del ensayo) ha producido dosis individuales más elevadas para pequeños grupos de población.

28. Las dosis anuales colectivas expresadas como porcentaje de la exposición media de fondo natural permiten ilustrar la tendencia anual en materia de exposiciones causadas por los ensayos nucleares. La tendencia a largo plazo, calculada a partir de los datos que figuran en el presente informe y en los anteriores informes del Comité, se describe en la figura I a). A comienzos del decenio de 1960 se inició una marcada tendencia al aumento de las dosis colectivas anuales. Dicha tendencia alcanzó su punto culminante en 1963, año en que la dosis colectiva correspondió al 7% de la exposición media a fuentes de radiación naturales. Para 1966 la dosis anual había disminuido a cerca del 2% de la exposición anual media a fuentes de radiación naturales y en la actualidad es de menos del 1%. De no producirse ninguna explosión adicional en la atmósfera, las dosis futuras disminuirán cada vez más hasta desaparecer por completo.

29. Las dosis colectivas anuales medias recibidas por la población mundial en cualquiera de los momentos que aparecen en la figura I a) son el resultado de todas las explosiones realizadas hasta 1980. Con respecto a las dosis colectivas que se han comprometido, cabe señalar que también interesa estudiar su evolución hasta la total desintegración de los radionucleidos producidos por los ensayos efectuados cada año. Es lo que se hace en la figura I b), donde se aprecia que de todos los ensayos de armas realizados hasta la fecha, los que han generado la mayor proporción de precipitación radiactiva, fueron las explosiones efectuadas en 1961-1962.

30. En la figura I b) las dosis colectivas se expresan como el número de días durante los cuales la población mundial tendría que estar expuesta a radiaciones de origen natural para que los resultados fueran los mismos. Si las dosis recibidas por la población mundial se hubieran podido administrar a una tasa constante igual a la tasa media de exposición a fuentes de radiación naturales y no a una tasa reducida e irregular durante varios miles de años, la dosis colectiva total habría llegado a ser igual a la que se recibe actualmente a partir de fuentes naturales en aproximadamente cuatro años. En consecuencia, puede decirse que los efectos de la precipitación radiactiva equivalen a cerca de cuatro años de exposición media a radiaciones de origen natural. Las dosis colectivas administradas hasta el momento pueden deducirse a partir de la figura I a) y ascienden a cerca de 0,4 años de exposición a fuentes naturales. El resto, es decir, unos 3,3 años de exposición a radiaciones de origen natural, corresponde a las dosis causadas por la precipitación radiactiva que se seguirán administrando hasta que los radionucleidos emitidos se hayan desintegrado totalmente. El 50% de los efectos de la precipitación se producirán a una tasa reducida durante los próximos 2.000 ó 3.000 años.

PORCENTAJE DE LA DOSIS ANUAL CAUSADA POR FUENTES DE RADIACION NATURALES



DIAS DE EXPOSICION EQUIVALENTE A FUENTES DE RADIACION NATURALES

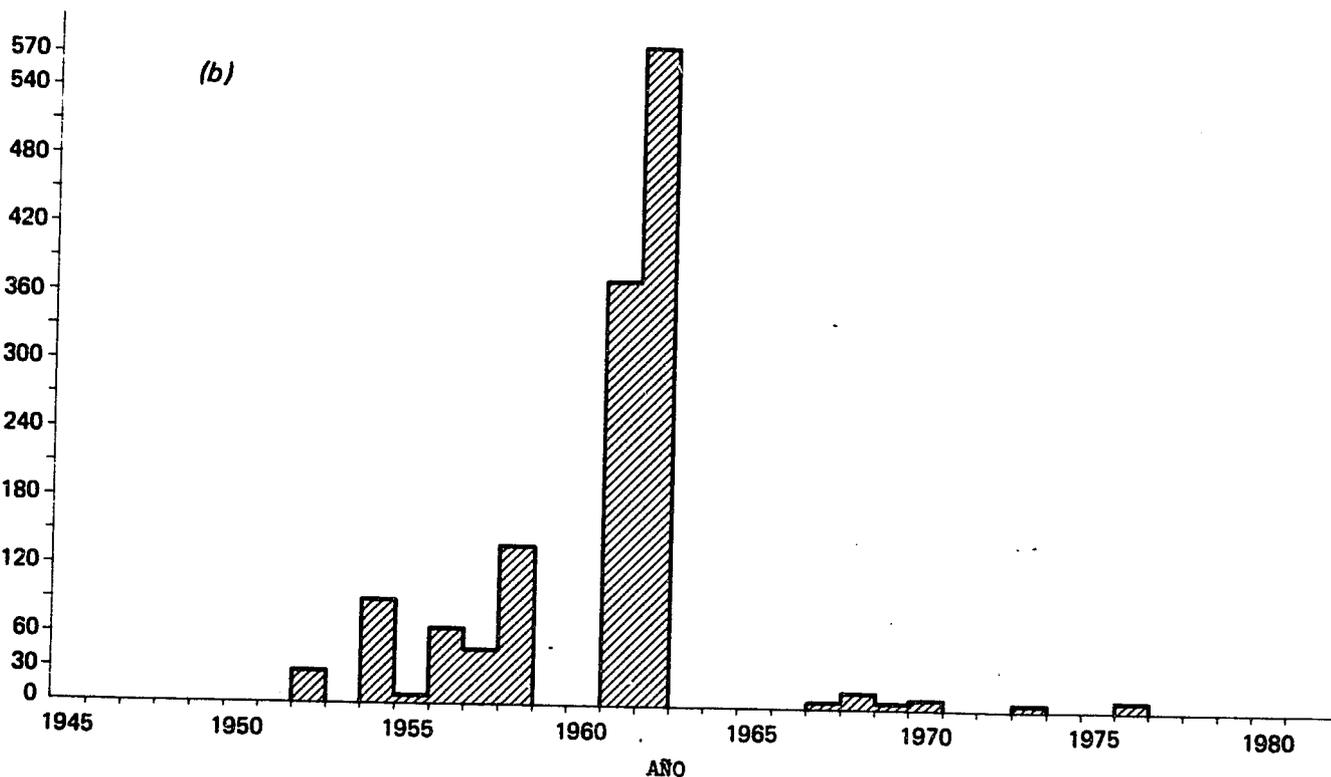


Figura I. Evolución de las dosis colectivas causadas por explosiones nucleares en la atmósfera con el transcurso del tiempo. a) Dosis colectivas anuales medias recibidas entre 1958 y 1979; b) Dosis colectivas comprometidas para el futuro como resultado de las explosiones nucleares realizadas entre 1945 y 1980.

c) Producción de energía nuclear

31. El número de reactores nucleares en funcionamiento ha aumentado desde la publicación del último informe del Comité y en 1979 ascendía a 235 reactores, con una capacidad instalada total de generación de energía nuclear de aproximadamente 120 gigavatios (GW). La producción de energía eléctrica por medio de reactores nucleares supone la existencia de un ciclo del combustible compuesto de muchas etapas. Estas son: la extracción y el tratamiento del mineral de uranio; la conversión a varias formas químicas; el enriquecimiento del contenido isotópico de U-235 (en algunos casos); la fabricación de elementos combustibles; la producción de energía en reactores nucleares; la reelaboración del combustible irradiado (en algunos casos); el transporte de los materiales entre las diversas instalaciones y, por último, la eliminación de los desechos radiactivos. El Comité ha evaluado las dosis administradas a los trabajadores y al público en general en cada una de las principales etapas del ciclo del combustible nuclear.
32. Con respecto a estas últimas cabe tener presente que en todo momento una fuente tal como una planta de energía nuclear administra dosis individuales que dependen en gran medida de la distancia entre el individuo afectado y la fuente. También cabe tener presente que para una misma ubicación respecto de la fuente, las dosis causadas por las emisiones de la planta cambian con el transcurso del tiempo, incluido el período posterior al término de la práctica, lo que se debe a los radionucleidos que permanecen en el medio ambiente. Por consiguiente, resulta difícil asignar a las dosis individuales un valor que pueda considerarse representativo de dicha fuente, aunque el efecto total puede evaluarse sumando todas las dosis individuales en el espacio y en el tiempo y respecto de todos los individuos en el presente y en el futuro. Con todo, las indicaciones relativas a las dosis individuales pueden expresarse de diferentes maneras.
33. Por ejemplo, se podría utilizar un valor relativo al individuo (presente o futuro) que ha recibido (o que recibirá) la dosis más alta que es posible recibir de resultados del funcionamiento de una fuente dada. No obstante, las dosis individuales reales variarán entre cero y ese valor máximo. Por otra parte, se podría calcular la dosis anual media correspondiente a toda la población del planeta durante un año dado, es decir, la dosis anual per cápita. Aunque cada uno de los cálculos antes mencionados podría ser de utilidad para ciertos propósitos, ninguno de ellos puede representar la verdadera situación cabalmente.
34. Pese a todas las dificultades conceptuales antes mencionadas, sigue siendo importante que las personas expuestas tengan alguna idea de la magnitud de las dosis individuales. Por ejemplo, las dosis individuales máximas podrían servir de base para formarse idea del peligro máximo que una fuente dada es capaz de causar. La dosis anual media para el conjunto de la población del planeta en un momento determinado puede servir de orientación útil para analizar las tendencias a lo largo del tiempo. No obstante, cabe hacer hincapié una vez más en que semejantes valores son promedios indicativos; por consiguiente, no es posible concluir que reflejen la verdadera exposición sufrida por personas determinadas.
35. Prácticamente la totalidad de los materiales radiactivos relacionados con la industria nuclear permanecen en el recinto del reactor o en instalaciones especiales de almacenamiento; no obstante, en casi todas las etapas de las operaciones es posible que se produzcan fugas de pequeñas cantidades de materiales radiactivos. La mayoría de los radionucleidos así emitidos sólo tienen importancia

local ya que se desintegran rápidamente. No obstante, algunos radionucleidos - los radionucleidos de períodos largos o los que se dispersan más rápidamente - se diseminan por todo el planeta y contribuyen a la irradiación actual y a veces futura, incluido el futuro lejano de la población del planeta.

36. Mediante cálculos aproximados puede llegarse a la conclusión de que las dosis equivalentes efectivas colectivas anuales administradas al público por estas fuentes aumentaron de 0,0001% de las dosis administradas por las fuentes de radiación naturales en 1960, a aproximadamente 001% de dichas dosis en 1980. El incremento de las dosis se relaciona directamente con el aumento de la producción de energía nuclear durante el mismo período. Las dosis anuales administradas a individuos varían considerablemente en torno al valor medio; no obstante, quienes suelen recibir las dosis más elevadas son las personas que viven en los alrededores de las instalaciones nucleares. Los valores que prevalecen en las inmediaciones de los reactores nucleares varían entre una fracción del 1% y varios puntos porcentuales de la dosis equivalente efectiva colectiva anual administrada por fuentes de radiación naturales. Además, los trabajadores de la industria nuclear que quedan expuestos a las radiaciones por lo general absorben dosis equivalentes efectivas del orden del valor medio de las dosis absorbidas de resultados de las fuentes de radiación naturales.

37. Los efectos del componente de largo plazo de la radiación resultan de las descargas de radionucleidos de período largo durante el funcionamiento de las plantas y de las descargas de residuos de las plantas de tratamiento o de las que se producen con motivo de la eliminación de desechos de alto nivel de radiactividad. Se ha hecho un cálculo muy aproximado del componente de largo plazo correspondiente a los 500 años posteriores a la emisión. En el caso de la energía nuclear producida durante un año - a niveles de 1980 - es posible que los efectos de ese componente de largo plazo a nivel individual equivalgan a dos horas de exposición de origen natural; en cambio, se calcula que la radiación del componente de corto plazo equivale a 30 minutos de exposición a fuentes de radiación naturales. Gran parte de la dosis equivalente efectiva causada por el componente de largo plazo se debe a las descargas de desechos de las plantas de tratamiento, que pueden producir emanaciones de radón durante períodos extremadamente largos. La tasa de emanación puede modificarse gracias a la introducción de mejoras en las prácticas de gestión, que podrían acarrear disminuciones de varios órdenes de magnitud. En el futuro lejano (miles/millones de años) la radiactividad de los desperdicios de las plantas de tratamiento o de los depósitos de desperdicios se verá afectada por cambios biológicos y climatológicos muy difíciles de predecir. La magnitud de las dosis causadas por esa radiactividad también dependerá de las formas de vida que predominen en el futuro lejano, formas que podrían diferir radicalmente de las actuales.

38. Partiendo del supuesto de que el actual ritmo de utilización de reactores de fisión para producir energía nuclear podría continuar durante 500 años, el Comité calcula que la dosis equivalente efectiva colectiva anual máxima podría ascender sólo a una fracción del 1% de la dosis correspondiente absorbida anualmente de resultados de las fuentes de radiación naturales. Cabe destacar que esta predicción de largo plazo se basa en las tecnologías existentes y que, por consiguiente, está sujeta a cambios. Con toda probabilidad, la introducción de cambios en las tecnologías actuales, por ejemplo, la introducción de reactores rápidos u otros tipos de tecnología avanzada relacionada con el ciclo del combustible, o el confinamiento de los radionucleidos de período largo, permitirán reducir aún más los efectos de largo plazo de las prácticas futuras.

39. La contribución de la irradiación profesional a los efectos causados por la producción de energía nuclear se puede evaluar mucho más fácilmente ya que la mayor parte de los trabajadores afectados por las radiaciones están sujetos a control individual. Dado el actual nivel de producción de energía nuclear, la dosis equivalente efectiva colectiva anual absorbida de resultados de la irradiación profesional asciende a cerca de 0,03% del valor correspondiente que resulta de las fuentes de radiación naturales.

B. NOVEDADES DE RADIOBIOLOGIA

40. La radiación causa efectos biológicos principalmente por transferencia de energía a las células del individuo irradiado. A este respecto, cabe reconocer dos tipos de células: las células somáticas, que no sobreviven al individuo; y las células germinativas, cuya función es la de transmitir información genética a nuevos seres. Los efectos somáticos de la irradiación se producen a nivel de las células somáticas y, por definición, se manifiestan durante la vida de la persona que ha sufrido la irradiación. Por otra parte, los efectos hereditarios, que se presentan en el segundo tipo de células, se hacen evidentes en los descendientes de las personas irradiadas, durante la primera generación y, en algunos casos, en las siguientes.

41. En términos generales, los efectos importantes del punto de vista radiobiológico perturban la división de las células somáticas en una de dos formas posibles: pueden o bien causar que la célula detenga su división y en definitiva o pueden dar a la célula una capacidad de división ilimitada que es característica del cáncer. Generalmente se establece una distinción entre los efectos iniciales y tardíos de la irradiación, según el momento en que se han manifestado estos efectos: desde unas pocas horas a unas pocas semanas en el primero de los casos; de varios meses a muchos años después, en el segundo.

42. Ha sido una política establecida hace tiempo del Comité la de no tratar de abarcar todos los efectos biológicos en los animales y en el hombre en un solo informe, sino más bien reseñar ciertas esferas, seleccionadas según la cantidad de información acumulada y la necesidad de pasar revista a todos los temas en forma periódica. Este informe fue recopilado teniendo en cuenta la misma política general. Se examinan entre los efectos somáticos, algunas consecuencias no cancerosas de la irradiación administrada a todo el cuerpo o a tejidos seleccionados. Se ha puesto al día la información sobre los efectos genéticos evaluándola a fin de estimar los riesgos.

1. Efectos genéticos

43. En la esfera de los efectos genéticos, se lograron importantes conclusiones sobre la base de publicaciones recientes. Estas han robustecido la convicción del Comité de que las estimaciones y los cálculos de riesgo anteriores continúen siendo esencialmente válidos. Estas estimaciones se compararon con los efectos hereditarios de diversa gravedad que se presentan en forma espontánea en aproximadamente el 10% de todos los nacidos vivos. Los agentes físicos, tales como las radiaciones ionizantes así como algunas sustancias químicas nocivas, pueden afectar el material genético de las células germinativas de los testículos u ovarios alterando los genes, las unidades elementales de la herencia (causando con ello mutaciones genéticas), o actuar sobre la estructura o el número de cromosomas portadores de los genes (provocando aberraciones cromosómicas). Los cambios en el material genético pueden estar asociados con diversos efectos hereditarios, algunos de los cuales pueden revestir graves consecuencias desde el punto de vista clínico.

44. Utilizando las mutaciones genéticas y las aberraciones cromosómicas como objetivos de la observación experimental, se compararon datos sobre la relación dosis-efecto en diversos organismos. Estas comparaciones han fortalecido la hipótesis de que cabe esperar una relación proporcional entre las tasas de mutaciones espontáneas e inducidas en ciertos genes concretos. Esta suposición básica fue aplicada al método indirecto de cálculo de riesgos.

45. Utilizando este método indirecto, el Comité estimó en 1977 que cuando una población está expuesta en forma continua a dosis bajas de radiaciones de TLE baja a razón de 0,01 Ga por generación (1 generación = 30 años), cabe esperar 63 casos nuevos de enfermedades hereditarias por millón de descendiente de primera generación. Una gran parte de las enfermedades hereditarias que comprende este cálculo están vinculadas a las causadas por anomalías numéricas de los cromosomas. No obstante los datos provenientes de animales de experimentación y del hombre indican la posibilidad de que el índice estimado de enfermedades que corresponde incluir en la categoría de anomalías cromosómicas sea menor de lo calculado antes. En vista de esto, el Comité ha estimado ahora que cuando una población está expuesta a las condiciones que se especifican supra, el incremento de enfermedades genéticas es probablemente del orden de unos 20 (en lugar de 63) casos por millón de nacimientos en la primera generación, y de alrededor de 150 (en lugar de 185) casos por millón de nacimientos en equilibrio (o sea alrededor de 2.000 ó 15.000 casos en la primera generación y en equilibrio, respectivamente, cuando la exposición corresponde a una tasa de 1 Gy por generación).

46. Tal como se consigna en el informe de 1977, también se efectuó un cálculo del riesgo de las enfermedades hereditarias mediante la aplicación del método directo. Los valores estimados que se obtuvieron utilizando estos dos métodos distintos (el método directo y el indirecto) concuerdan de manera razonable.

47. El riesgo creado por la inducción de un efecto cromosómico particular de las radiaciones (las translocaciones recíprocas) fue evaluado nuevamente sobre la base de resultados de estudios en titís, monos rhesus y en el hombre. No obstante, las consecuencias de estas translocaciones para la salud de los individuos portadores no se pueden determinar con seguridad valiéndose de los conocimientos presentes.

48. Se ha logrado progresar en nuestro conocimiento acerca de la relación dosis-reacción y otros aspectos de algunos de los tipos más importantes de cambios genéticos que pueden inducirse por irradiación de animales de laboratorio. Aún se considera esencial hacer amplio uso de datos experimentales para estimar los riesgos genéticos, por carecerse de resultados significativos en lo que respecta a los efectos hereditarios de la irradiación humana. También se ha propuesto que se realicen análisis más detallados de los efectos genéticos en lo que respecta al detrimento.

2. Efectos somáticos

49. Una de las conclusiones del presente informe es que con dosis pequeñas y tasas de dosificación bajas no se observa la inducción de efectos no neoplásicos. Esta conclusión es válida tanto para la irradiación total del cuerpo como para la de ciertos órganos específicos. Con dosis y tasas de dosificación comparables, la inducción del cáncer puede tal vez ser la única consecuencia somática de la irradiación de animales y del hombre.

50. En su informe de 1977, el Comité examinó los factores que hacen que la evaluación precisa del riesgo de inducción de cáncer en el hombre sea muy difícil, a pesar de esas dificultades, el Comité presentó en dicha oportunidad un análisis de los datos humanos y del cálculo de riesgos que se desprende de esos datos, para utilizarlos como el necesario punto de partida para tomar decisiones de índole práctica, particularmente como criterios científicos para elaborar políticas de protección contra las radiaciones.

51. En vista de la limitada cantidad de datos epidemiológicos nuevos, no tendría mucho sentido repetir el mismo análisis en un plazo tan corto. En lugar de ello, el Comité llevó a cabo una revisión de toda la información de posible interés, en animales de experimentación y en el hombre, teniendo en cuenta algunos modelos básicos de inducción de tumores. El objetivo era evaluar los posibles errores que podrían afectar los cálculos de estimación cuando actúa uno u otro modelo de irradiación. Un estudio de este tipo podría ser considerado como una forma indirecta de estimar los alcances del riesgo de las dosis bajas y de tasas de dosis bajas en los casos en que se carece de observaciones directas.

52. No obstante, el Comité decidió aplazar la publicación de un documento basado en este estudio, cuando se supo que se había propuesto revisar los cálculos dosimétricos para los supervivientes de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki, sobre los que se había basado parte del análisis del Comité. No solamente se habían puesto en deuda las dosis totales recibidas por las poblaciones irradiadas, sino también las contribuciones relativas de los componentes de neutrones y rayos gamma en la T65D (dosis tentativa de 1965) que se usa en la actualidad. El efecto de las revisiones propuestas es reducir el componente de la dosis de neutrones en ambas ciudades y de aumentar marcadamente el componente gamma en Hiroshima, mientras que disminuye ligeramente dicho componente gamma en Nagasaki. Además, deberán examinarse y tenerse en cuenta muchos otros factores antes de poder determinar estimaciones revisadas fiables para las dosis correspondientes a cada uno de los órganos de los sobrevivientes. Esta cuestión reviste gran complejidad técnica, y parece improbable que pueda investigarse a fondo y llegarse a un acuerdo sobre la revisión propuesta dentro de un plazo breve.

53. El Comité espera con interés el resultado de estudios adicionales en esta esfera, ya que forman uno de los puntos de partida en que se podrán basar los cálculos del riesgo de la irradiación. Mientras tanto, el Comité desea hacer hincapié en que no espera que estas revisiones tengan consecuencias significativas para los cálculos de riesgo que figuran en el informe de 1977 del Comité que indican que el riesgo de inducción de cánceres fatales por rayos gamma y rayos X es del orden de 2×10^{-5} para una dosis equivalente efectiva correspondiente a un año de radiación natural ambiental, como promedio para ambos sexos y todas las edades. Esto se debe a dos motivos: en primer lugar, si bien es aún imposible determinar con certeza la influencia que tendrán las revisiones, si son aceptadas, sobre la afirmación del riesgo, es improbable que esta influencia exceda un factor de 2. Por cierto que una mejor concordancia entre los datos de Hiroshima y Nagasaki podrá, por último, tender a fortalecer la confianza en estos cálculos estimados. En segundo lugar, la información obtenida de los supervivientes de las bombas atómicas en ambas ciudades es sólo una de las fuentes de datos relativos a la irradiación humana que utilizará el Comité para llegar a su cálculo.

54. Si bien se espera por consiguiente que esto ocasiona pocos cambios en los cálculos de inducción de cánceres humanos por rayos gamma y X, ya no se podrá recurrir a una supuestamente importante fuente de información relativa a la irradiación por neutrones en todo el cuerpo de poder corroborarse estas

correcciones respecto de las dosis. El cálculo de las dosis recibidas por los sobrevivientes del bombardeo atómico de Hiroshima y Nagasaki se examinará cuidadosamente y el Comité continuará estudiando las relaciones entre las dosis y sus efectos.

55. Se dispone de abundante información acerca de los efectos en el hombre de la irradiación de ciertos órganos y tejidos como consecuencia de la radioterapia para diferentes tipos de enfermedades, principalmente el cáncer. Es necesario examinar estos datos y verificar si resultan coherentes con informaciones obtenidas de animales de experimentación para otros fines. El estudio del Comité tuvo en cuenta: la naturaleza de las radiolesiones iniciales y tardías no estocásticas (véase el anexo J) del tejido normal; los umbrales de dosis en que se manifiestan inicialmente las formas concretas de las lesiones en diversas especies animales y particularmente en el hombre; y el efecto de algunas importantes variables de la irradiación (calidad de las radiaciones fragmentación del tratamiento) sobre estos umbrales.

56. Se desprenden en lo expresado dos conceptos de unificación. En primer lugar, el daño tisular depende principalmente de la pérdida de capacidad reproductiva de algunas de las células que integran el tejido; en segundo lugar, la estructura y función de cada tejido determina en gran medida el tiempo y la magnitud de la reacción observada. Fue necesario derivar de la experiencia obtenida principalmente con dosis y tasas de dosificación altas la información aplicable a las dosis y tasas de dosificación bajas, que son las condiciones de irradiación que revisten mayor interés en la práctica. Finalmente, fue necesario confiar en la experiencia derivada de la irradiación de tejidos humanos normales durante la radioterapia.

57. El estudio resultó útil por la gran cantidad de información que aportó respecto de cada tejido en particular. Las conclusiones más generales que pueden derivarse de un análisis tan complejo son que los efectos no estocásticos en los tejidos se caracterizan generalmente por relaciones no lineales con las dosis y los umbrales aparentes a dosis bajas. Estas condiciones son de primordial importancia para toda consideración relativa a lesiones no estocásticas de los tejidos. Si bien la magnitud del umbral puede variar para cada tejido y cada efecto específico, los mecanismos que producen el efecto hacen que la abolición de los umbrales a dosis y a tasas de dosificación baja sea improbable. Por lo tanto, si la inducción del cáncer se produce supuestamente como una reacción ajena al umbral, cabe inferir que la carcinogénesis se podrá inducir a dosis bajas, cuando el umbral no permitiría la expresión de una lesión no estocástica visible. A este respecto, para planificar medidas de protección contra las radiaciones, puede considerarse la carcinogénesis en general como el efecto más importante de la exposición a tasas de dosificación y magnitud de dosis bajas.

58. En principio, en casos de irradiación parcial del cuerpo, es más fácil atribuir los daños resultantes a las células que fueron blanco de radiaciones en órganos y tejidos que en el caso de una irradiación total del cuerpo, cuando los efectos y síntomas pueden ser de significado dudoso o de patogénesis incierta. Un ejemplo típico está dado por el efecto de la irradiación total del cuerpo, comúnmente e incorrectamente llamada de "envejecimiento" o "disminución no específica del lapso vital". El Comité analizó los datos experimentales acerca del "envejecimiento" inducido por irradiación en animales y en el hombre. En vista de que los mecanismos biológicos del envejecimiento natural son básicamente desconocidos, parece haber razones suficientes para postular un posible efecto de

la irradiación, a falta de datos experimentales convincentes; esta posibilidad, no obstante, no puede ser totalmente desestimada. El estudio se limitó por lo tanto al acortamiento de la vida causado por las radiaciones.

59. Si bien la longitud de la vida se considera por lo común como una medida del envejecimiento, representa simplemente el aspecto estadístico de éste y pasa por alto la compleja interacción de los factores que conducen a la muerte. Es bien conocido el hecho que en promedio, la duración de la vida de las poblaciones humanas y animales que sufrieron irradiación tiende a ser más corta que la de los grupos de testigos equiparables. No obstante, la determinación de tasas de mortalidad puede ser una tarea sumamente dificultosa, por más que sea el único medio razonable de atribuir la muerte a causas específicas y de discernir con ello acerca de la intervención de posibles mecanismos no específicos. Una abundantísima bibliografía demuestra que a dosis y tasas de dosificación bajas, el acortamiento de la vida es causado esencialmente por la presencia de cánceres que sobrepasan el índice en morbilidad espontánea. Cuando se resta la contribución al acortamiento de la vida atribuible a estos cánceres del efecto total de acortamiento de la vida, no existe pruebas de otros mecanismos no específicos que fueran responsables de un acortamiento adicional. Esta conclusión está bien documentada y corresponde a los seres humanos y a otros mamíferos. Existen por cierto, datos en conflicto con la misma pero, en opinión del Comité, estos datos carecen de peso suficiente como para desestimar la conclusión. Tal vez sea necesario efectuar estudios adicionales al respecto.

60. Resulta esencial formular la estimación de riesgo con una amplia perspectiva de sus posibles aplicaciones. En este sentido, es importante determinar si los efectos de las radiaciones ionizantes, un agente ubicuo en toda la naturaleza, podrían modificarse por interacción con otros agentes (físicos, químicos o biológicos) de amplia distribución en el medio ambiente y que son, por consiguiente capaces de afectar a gran número de personas y, posiblemente, ocasionar cambios en la estimación de riesgo.

61. Si bien se ha sugerido a menudo que estas con posibles interacciones, la cantidad de información concreta, particularmente en lo que respecta a efectos significativos para calcular riesgos en los seres humanos (inducción de cánceres, efectos hereditarios, anomalías en el desarrollo), es más bien escasa e incoherente. El análisis del Comité tuvo que limitarse necesariamente a aspectos teóricos, con ilustraciones provenientes de trabajos publicados. No obstante, quedó demostrada la complejidad de un tratamiento profundamente científico de esta cuestión, debido a que la índole de los agentes que intervienen, la variabilidad de los mecanismos de acción, las dosis, el orden y la periodicidad de la administración dan lugar a toda una gama de interacciones posibles.

62. El estudio pasó revista a algunos agentes importantes en condiciones particulares, principalmente de índole ocupacional, entre las cuales la mejor documentada es la interacción del humo del tabaco con la radiación alfa por productos descendientes de la desintegración del radón en la inducción de tumores pulmonares en los mineros de uranio. Si bien estos resultados son seguramente aplicables a ciertas situaciones ocupacionales concretas (y pueden servir para que las autoridades locales tomen medidas) el examen del Comité indica que no ha disminuido la validez de una aplicación general de los cálculos del riesgo de la irradiación. Es necesario contar con más investigación orientada hacia estos problemas, con estrategias coherentes y una acertada elección de los agentes que se han de investigar. El Comité formuló recomendaciones a este respecto.

III. TEXTO PRINCIPAL DEL INFORME

63. LUEGO DE UNA SECCION INICIAL EN QUE SE ESBOZAN LOS CONCEPTOS Y LAS CANTIDADES UTILIZADOS POR EL COMITE EN SUS EVALUACIONES, EN EL PRESENTE CAPITULO SE TRATAN SISTEMATICAMENTE, EN RELACION CON LAS DIVERSAS ESFERAS DE INTERES, LAS CONCLUSIONES CONCRETAS QUE CABE DEDUCIR DE LOS ESTUDIOS DEL COMITE DESDE LA PRESENTACION DEL ULTIMO INFORME SUSTANTIVO. CADA SECCION ESTA PRECEDIDA DE UN PARRAFO EN QUE SE RESUME EL CONTENIDO DE AQUELLA. LOS DATOS Y LOS ANALISIS EN QUE SE FUNDAN LAS CONCLUSIONES DEL COMITE FIGURAN EN LOS ANEXOS CIENTIFICOS A A L.

A. CANTIDADES Y UNIDADES

64. En los estudios de los efectos de las radiaciones se suele correlacionar la probabilidad de la respuesta o la magnitud de los efectos con valores estimados de la exposición a las radiaciones. La cantidad primordial utilizada con este fin es la energía absorbida por unidad de masa del objeto biológico irradiado, conocida como la dosis absorbida.

65. Para los efectos de la evaluación del riesgo puede ser conveniente atribuir factores de ponderación a la contribución de diferentes tipos de radiación a fin de considerar su efectividad biológica variable. Una cantidad ponderada definida por el CIPR para los objetos de la protección contra las radiaciones es la dosis equivalente, que se deriva ponderando la dosis de una radiación dada con el factor de calidad obtenido a partir de una serie de observaciones experimentales. De este modo, la dosis equivalente H , es el producto de la dosis absorbida, D , y el factor de calidad, Q , además de cualquier otro factor pertinente recomendado por el CIPR.

66. Una novedad importante que ha tenido lugar recientemente para los objetivos de la evaluación del riesgo y que se utiliza en el presente informe es la definición de dosis equivalente efectiva. Esta tiene su razón de ser en la necesidad de que en la evaluación de los riesgos se tengan en cuenta tanto las irradiaciones uniformes como parciales del organismo. Con este objeto, es necesario que el coeficiente de ponderación que se atribuya a la irradiación de una parte dada del organismo sea proporcional al riesgo de producción de efectos estocásticos, en comparación con los efectos previstos de la irradiación de todo el organismo con la misma dosis equivalente. Por ejemplo, si, para la misma dosis equivalente, la irradiación de un órgano da por resultado un efecto diez veces menor que el efecto resultante previsto de la irradiación de todo el organismo, sería necesario, a fin de mantener la uniformidad del riesgo al integrar las exposiciones de diferentes órganos, atribuir un coeficiente de ponderación diez veces inferior al órgano en cuestión que la dosis equivalente para todo el organismo. El CIPR ha proporcionado una lista de coeficientes de ponderación aplicables a los órganos para los efectos de la protección contra las radiaciones, y estos mismos coeficientes se han utilizado en todo el presente informe.

67. La dosis equivalente efectiva, definida por el CIPR, no estaba destinada a estimaciones de riesgo, sino que se introdujo como una cantidad dosimétrica adecuada para su comparación con límites administrativos de dosis. Puesto que los coeficientes de ponderación de los órganos son valores medios para todas las edades y ambos sexos, la dosis equivalente efectiva no se presta bien para reflejar la probabilidad de cáncer radioinducido y de detrimento hereditario extremo a causa de exposiciones en un solo individuo, sino que indica el riesgo medio para una población heterogénea compuesta de ambos sexos y de todas las edades.

68. Para esas poblaciones, se postula que la expectativa de detrimento debido a dosis bajas de radiación es proporcional a la dosis colectiva, que es la dosis particular media multiplicada por el número de individuos expuestos. Por consiguiente, se puede evaluar el efecto radiológico de una fuente de radiación determinada integrando las contribuciones particulares a la dosis colectiva en el espacio y el tiempo. Cuando se relaciona con la práctica determinada que presuntamente causa estas exposiciones actuales y futuras, el resultado de esta integración se denomina compromiso de dosis colectiva debido a esa práctica.

69. En conclusión, la ponderación de las dosis absorbidas a fin de derivar dosis equivalentes permite considerar la eficacia biológica de diferentes tipos de radiación. El empleo de la dosis equivalente efectiva tiene en cuenta el riesgo relativo de exposición de diferentes órganos del cuerpo. La dosis colectiva permite una estimación del detrimento previsto en una población expuesta. El concepto de compromiso de dosis relaciona el detrimento futuro total previsto con la práctica que origina la exposición. A pesar de su complejidad aparente, estos conceptos facilitan las evaluaciones y las comparaciones mutuas de dosis y riesgos debidos a diferentes fuentes de radiaciones.

70. Al considerar las radiaciones emitidas espontáneamente por un material radiactivo, es conveniente caracterizar dicha emisión de acuerdo con la actividad (del radionucleido). La actividad es igual al número de transiciones de radionucleidos por unidad de tiempo. La unidad SI es el segundo recíproco (s^{-1}). El nombre especial para el segundo recíproco cuando se utiliza para la actividad de radionucleidos, es el de becquerel (Bq). De este modo

$$1 \text{ s}^{-1} = 1 \text{ Bq (para la actividad)}$$

La unidad SI de dosis absorbida y de dosis equivalente es el julio por kilogramo ($J \text{ kg}^{-1}$). El nombre especial para el $J \text{ kg}^{-1}$, cuando se utiliza para dosis absorbida, es el de gray (Gy). De este modo

$$1 \text{ J kg}^{-1} = 1 \text{ Gy (para dosis absorbida)}$$

El nombre especial para el $J \text{ kg}^{-1}$, cuando se utiliza para la dosis equivalente, es el de sievert (Sv). De este modo

$$1 \text{ J kg}^{-1} = 1 \text{ Sv (para la dosis equivalente)}$$

B. NIVELES Y DOSIS DE RADIACION

1. Modelos de evaluación de dosis 4/

71. PARA CALCULAR LA DOSIS ADMINISTRADA POR FUENTES DE RADIACION A POBLACIONES EXPUESTAS ES NECESARIO UTILIZAR MODELOS QUE RELACIONEN LAS CANTIDADES MEDIDAS O CALCULADAS DE MATERIALES RADIATIVOS QUE SON LIBERADOS POR LA FUENTE O QUE ESTAN PRESENTES EN EL MEDIO AMBIENTE, CON LA DOSIS RESULTANTE EN LOS SUJETOS IRRADIADOS. CON ESTE OBJETO, SE UTILIZAN MODELOS DE TRANSFERENCIA AMBIENTAL Y MODELOS DOSIMETRICOS. EN LA PRESENTE SECCION SE PROPORCIONA UNA DESCRIPCION DE LOS MODELOS PRINCIPALES UTILIZADOS POR EL COMITE A TITULO DE INFORMACION DE ANTECEDENTES PARA LAS EVALUACIONES POSTERIORES.

4/ Este tema se examina en detalle en el Anexo A titulado "Modelos de evaluación de dosis".

72. El Comité examina la información relativa a la exposición de seres humanos a las radiaciones con diversos fines. Uno de estos fines es evaluar los niveles de exposición a que se hallan sujetos los individuos; otro es evaluar los niveles de exposición de grupos de población, un tercero es suministrar datos básicos. La relación entre el nivel de irradiación de un individuo y la probabilidad de inducción de efectos sobre la salud que presuntamente tienen lugar es sobremanera compleja. En el actual estado de conocimientos, es razonable suponer que una mayor exposición entraña un mayor riesgo de efectos nocivos. La hipótesis principal que sirve de base, implícita o explícitamente, para las evaluaciones del Comité, consiste en que la probabilidad de aparición de efectos estocásticos en un tejido determinado es linealmente proporcional a la dosis equivalente en el tejido, incluso con las dosis más reducidas y con un factor de proporcionalidad que varía de un tejido a otro. No es posible exagerar la importancia de este modelo básico ya que, si no fuera válida la relación lineal, no sería admisible sumar las dosis para dar una medida del riesgo total, ni calcular dosis efectivas como expresiones del detrimento total en poblaciones expuestas.

73. Cuando se considera a las personas en su lugar de trabajo, por lo general es posible evaluar el nivel de irradiación a partir de mediciones directas. Las dosis resultantes de dicha irradiación durante un lapso dado (por ejemplo, un año, la vida de trabajo, toda la vida del individuo) brindan una indicación del nivel presunto de riesgo en que se incurre. Cuando se evalúan las exposiciones del público en general, ya sea que se consideren por separado o en forma colectiva, no es posible medir directamente el nivel de irradiación y debe evaluarse mediante métodos indirectos. Esto se realiza mediante modelos que relacionan las cantidades medidas o calculadas de actividad que libera una fuente o que están presentes en el medio ambiente con las dosis resultantes en los individuos irradiados. Los modelos de este tipo se dividen en dos categorías generales: ambientales y dosimétricos. Los modelos ambientales describen la circulación de los radionucleidos desde el punto de liberación entre los distintos sectores del medio ambiente. Los modelos dosimétricos comprenden los modelos destinados a predecir la conducta de los radionucleidos en el organismo humano luego de su ingestión y los destinados a proporcionar estimaciones de las dosis resultantes que afecten a los órganos provenientes de radionucleidos en el cuerpo o de fuentes externas.

74. Si resulta posible medir la tasa de dosis absorbida en el aire proveniente de radionucleidos en el aire o depositados en el suelo en un número suficiente de lugares y durante un lapso suficientemente prolongado, entonces será posible evaluar las dosis absorbidas que afecten a los individuos y las poblaciones provenientes de radiación externa sin necesidad de modelos ambientales de transferencia que describan el modo en que las fuentes de radionucleidos den lugar a contaminación transportada por el aire o de posición. Del mismo modo, si se pueden medir las concentraciones de actividad en los órganos o tejidos de los radionucleidos en cuestión en un número suficiente de personas, es posible evaluar las dosis absorbidas de radionucleidos incorporados utilizando únicamente modelos dosimétricos, sin necesidad de modelos de transferencia ambiental. En muchas situaciones, especialmente con respecto a los radionucleidos existentes en la naturaleza y los producidos en explosiones nucleares, se han realizado suficientes mediciones en diferentes lugares y durante lapsos suficientemente prolongados para permitir al Comité calcular directamente las dosis a partir de dichas mediciones.

75. Pueden efectuarse estimaciones no tan directas de las dosis internas a partir de mediciones de concentración de actividades de radionucleidos en el aire o en los alimentos. En este caso, la información adicional que se requiere está constituida por las tasas de ingestión de los radionucleidos del aire o del alimento en

cuestión, y los modelos dosimétricos pertinentes que permitan obtener las dosis absorbidas en los órganos y los tejidos luego de la ingestión. Se utilizan estos métodos menos directos para ciertos radionucleidos provenientes de explosiones nucleares, a menudo para complementar un programa de medición más limitado en las personas. También se utilizan en la evaluación de dosis absorbidas que afecten a grupos críticos de la población expuestos como resultado de una descarga deliberada de radionucleidos de instalaciones nucleares, con respecto a un número limitado de radionucleidos. Una dificultad que supone el fiarse demasiado de dichas mediciones es que previamente debe hacerse todo lo posible para asegurarse de que el alimento controlado en la única vía, o la vía principal, de ingestión del radionucleido en cuestión. Cuando se trata de una dieta variada y un gran número de radionucleidos, esto se hace sumamente laborioso. Con respecto a los radionucleidos no distribuidos uniformemente en el medio ambiente, éste no es un método viable para determinar la dosis colectiva.

76. Ocasionalmente pueden no ser practicables mediciones directas. Esto puede deberse a dificultades técnicas en la medición de la concentración de actividad del radionucleido en cuestión en un medio apropiado, o a la dificultad de obtención de muestras, o al hecho de que el número de radionucleidos y trayectorias de circulación es demasiado grande. También las mediciones directas pueden ser impracticables debido a que se necesita obtener pronósticos de las tasas de dosis, por ejemplo, para derivar compromisos de dosis colectivas, en vez de las mediciones que deben realizarse después de la exposición a la dosis o durante ésta. En estos casos es necesario recurrir a modelos a fin de deducir las dosis y la distribución de las dosis a partir de los datos sobre las cantidades de radionucleidos liberados en el medio ambiente y las tasas de liberación. La relación entre las dosis y las cantidades liberadas dependerá de muchos factores, tales como las condiciones de la liberación, la forma fisicoquímica del radionucleido, si la liberación tiene lugar en la atmósfera, en una masa de agua o en el suelo, y las características del ambiente afectado. En general, los modelos ambientales con que trata el Comité son presentaciones matemáticas simplificadas de procesos reales de transferencia. Algunos de esos procesos son bien conocidos y pueden describirse con precisión razonable mediante modelos matemáticos que tienen una relación estrecha con las mediciones. Un ejemplo es la transferencia de radionucleidos procedentes de la precipitación radiactiva tales como el estroncio-90 mediante cadenas alimentarias. Otro proceso quizás sean conocidos sólo en parte, y las escalas de tiempo u otros aspectos pueden hacer que resulte muy difícil verificar los modelos mediante medición, tal como en el caso de la estabilidad a largo plazo de la sorción de actínidos en suelos o partículas de sedimentos.

77. En el anexo A se examinan los modelos utilizados por el Comité, pero una relación detallada de todos éstos trasciende los objetivos del presente capítulo. Baste decir que en dicho anexo el Comité describe los modelos de transferencia atmosféricos (locales, regionales y mundiales), los modelos hídricos (ríos, lagos, océanos) y los modelos terrestres utilizados en todos los demás anexos. También se examinan en el anexo las bases de los modelos y las trayectorias de circulación detalladas para diversas modalidades de irradiación. Este material se considera como una información de antecedentes necesaria para las evaluaciones de dosis en todos los casos que entrañan dispersión de sustancias radiactivas en el medio ambiente.

2. Exposición a las radiaciones naturales, incluidas las fuentes modificadas por factores tecnológicos, y a bienes de consumo emisores de radiaciones

78. LA CONCLUSION PRINCIPAL QUE CABE DEDUCIR DE LA LABOR DEL COMITE EN ESTA ESFERA ES QUE LA CONTRIBUCION PREDOMINANTE A LA DOSIS COLECTIVA PROVENIENTE DE FUENTES NATURALES PUEDE ATRIBUIRSE A LOS PRODUCTOS DE DESINTEGRACION DE UN GAS NOBLE, EL RADON. EN NUEVOS ESTUDIOS SE HAN INVESTIGADO VARIAS FUENTES DE RADON, TALES COMO MATERIALES DE CONSTRUCCION, RADON LIBERADO DEL SUELO, DE AGUA CORRIENTE Y DE GAS NATURAL. TAMBIEN SE ESTAN ESTUDIANDO VARIOS PARAMETROS (PODER DE EMANACION, TECNOLOGIA DE CONSTRUCCION Y, ESPECIALMENTE, VENTILACION) QUE PUEDEN EJERCER UNA GRAN INFLUENCIA SOBRE LA CONTRIBUCION DE ESTA FUENTE. LA PERCEPCION DE LA IMPORTANCIA DE ESTOS FACTORES COINCIDE CON AVANCES TECNOLOGICOS QUE AUMENTAN LA CONCENTRACION DE RADON EN EL INTERIOR DE LOS EDIFICIOS. NO SE HA CONCLUIDO QUE LA EXPOSICION A OTRAS FUENTES NATURALES, A RADIACION NATURAL INTENSIFICADA O A DIVERSOS BIENES DE CONSUMO VARIE CONSIDERABLEMENTE CON RESPECTO A ANTERIORES EVALUACIONES.
79. El Comité ha informado con frecuencia de fuentes naturales de mediación del ser humano, ya que constituyen en la actualidad (y probablemente siguen constituyéndola en el futuro predecible) la mayor parte de la dosis colectiva recibida por la población mundial. Su carácter ubicuo y la tasa muy reducida y bastante constante de administración durante toda la vida del ser humano son las características principales de estas fuentes. Desde el informe de 1977 no ha habido avances muy considerables en los conocimientos de la mediación natural, con excepción de la exposición de los productos de desintegración del radón. Por consiguiente, la presente reseña es fundamentalmente una actualización. No obstante, ciertas informaciones recientes sobre exposiciones a radiaciones naturales modificadas por factores tecnológicos y a bienes de consumo ha dado por resultado una mejor evaluación de las fuentes y de las dosis resultantes.
80. Toda forma de vida en la tierra inevitablemente está asociada con la exposición a las radiaciones de fuentes naturales. Estas pueden ser de dos tipos diferentes: fuentes en el medio ambiente ultraterrestre (esto es, los rayos cósmicos) y fuentes terrestres (esto es, las sustancias radiactivas de la corteza terrestre). Estas fuentes producen irradiación en el organismo humano desde el exterior. No obstante, ambos tipos de fuentes también producen irradiación interna debida a nucleidos que ocurren en la naturaleza y son ingeridos por el organismo mediante las trayectorias fisiológicas normales. El hecho de vivir en un ambiente natural expone al hombre a todas estas fuentes.
81. Existen circunstancias vinculadas principalmente con avances tecnológicos, en que puede modificarse la exposición del ser humano a estas fuentes naturales. Los viajes aéreos, el empleo del gas natural para fines de calefacción y la residencia en la vecindad de centrales eléctricas alimentadas por combustibles fósiles son ejemplos de condiciones que dan lugar a una exposición intensificada a las radiaciones naturales. Estas irradiaciones no tendrían lugar si no existiesen las tecnologías respectivas (no orientadas expresamente a la producción de radiaciones). En el presente informe se hace referencia a dichos tipos de irradiación como "irradiaciones naturales modificadas por factores tecnológicos" y se tratan independientemente de las irradiaciones verdaderamente naturales.

82. Puesto que se sabe de los análisis anteriores del Comité que una parte considerable de la dosis recibida por irradiación interna se debe a la inhalación de radón, torón y sus productos de desintegración, se realizó un estudio amplio de estos radionucleidos para el presente informe. El estudio se refiere a los niveles de estos nucleidos en el ambiente de residencia y trabajo, al grado y las causas de su variabilidad en la naturaleza y a las condiciones que afectan las dosis administradas por estos nucleidos durante la irradiación del ser humano, especialmente del pulmón. Los resultados de este estudio se examinarán por separado (véanse los párrafos 108 a 116).

83. Finalmente, existe irradiación causada por bienes de consumo de amplio uso que sobreviene debido a que en dichos bienes se incorporan deliberadamente materiales radiactivos o debido a que se produce radiación durante su funcionamiento normal. La irradiación por los bienes de consumo es semejante en cierta forma a la irradiación por fuentes modificadas por factores tecnológicos; no obstante, el hecho de que se los trate en conjunto con las fuentes modificadas por factores tecnológicos es básicamente una cuestión de conveniencia.

a) Fuentes naturales 5/

84. Con respecto a la irradiación externa, el Comité ha evaluado las dosis de rayos cósmicos (tanto el componente ionizante como el neutrónico en forma separada de las dosis debidas a irradiación terrestre producida por el potasio-40, el uranio-238, el torio-232 y sus productos de desintegración. El componente correspondiente a los rayos cósmicos por lo general es bastante estable en la superficie terrestre, pero varía con la latitud geomagnética y, en mayor grado, aumenta con la altitud sobre el nivel del mar. De este modo, los grupos de población que viven a grandes altitudes reciben dosis considerablemente mayores que otros grupos que viven en tierras bajas o al nivel del mar. La dosis equivalente externa que reciben de los rayos cósmicos las poblaciones que viven al nivel del mar asciende a alrededor de 0,3 millones milisievert por año.

85. El componente terrestre de la radiación natural ambiente depende de la composición de los suelos y las rocas que contienen los radionucleidos naturales. Se cuenta con información suficiente relativa a la dosis de radiación terrestre al aire libre en extensas zonas del mundo como para afirmar que la mayoría de la población que reside en estas zonas recibe una dosis del orden de 0,35 milisievert por año, con una desviación estándar del orden del 25% de este valor medio. Esta cifra se deriva del hecho conocido de que las tasas de irradiación en el interior de edificios en promedio ascienden a un 20% más que al aire libre y de la hipótesis de que las personas pasan un 80% de su tiempo en interiores. Puede considerarse razonablemente que este promedio ponderado para la población representa el nivel "normal" de radiación terrestre a que está expuesta la humanidad. Basándose en promedios aplicables a un gran número de sujetos adultos que viven en zonas de radiación ambiente normal, se concluye que la dosis externa debida a irradiación terrestre es ligeramente superior a la debida a los rayos cósmicos.

86. Hay regiones del mundo en que la irradiación externa por fuentes naturales terrestres puede superar considerablemente los límites de variabilidad normal. Se han identificado dichas regiones (y, en ciertos casos, se han levantado mapas de aquéllas con bastante minuciosidad) en el Brasil, la India, el Irán, Italia y otros

5/ Este tema se trata en detalle en el anexo B, titulado "Exposición a fuentes naturales de radiación".

países. En algunas de estas localidades la dosis anual que reciben los habitantes puede superar en más de 10 veces la que reciben personas que viven en zonas de radiación ambiente normal. Aún no se ha determinado con gran precisión qué importancia puedan tener estas zonas de gran radiación ambiente para la dosis colectiva mundial debida a irradiación externa. Según los cálculos actuales, esta contribución no supera un 10% de la dosis colectiva mundial.

87. También el Comité ha evaluado la irradiación interna resultante de radionucleidos que se incorporan al organismo por ingestión o inhalación. Estos radionucleidos son cosmogénicos (esto es, son producidos por la interacción de rayos cósmicos con átomos presentes en la alta atmósfera) o primordiales, en el sentido de que han existido en la corteza terrestre durante toda su historia. Los nucleidos del primer tipo contribuyen en una cuantía muy reducida a la dosis proveniente de la radiación ambiente natural. El tritio (hidrógeno-3), el berilio-7, el carbono-14 y el sodio-22 son los únicos componentes que hacen un aporte significativo a la dosis. En la segunda clase, los productos de integración de vida corta del radón-222 efectúan con mucho la contribución más importante. Les siguen el potasio-40, los productos de desintegración del torón (radón 220) y el polonio-210. La dosis equivalente eficaz proveniente de fuentes internas de radiación natural puede calcularse que asciende a unas dos veces la correspondiente a la exposición externa. No obstante, grupos de personas que viven en condiciones especiales de habitación pueden estar expuestos a dosis absorbidas internas considerablemente altas.

Cuadro 1

Dosis equivalentes efectivas anuales estimadas provenientes de fuentes naturales de radiación en zonas de radiación ambiente "normal"

Fuente	Dosis equivalente efectiva anual (milisievert)		
	Irradiación externa	Irradiación interna	Total
Rayos cósmicos			
Componente ionizante	0,28		0,28
Componente neutrónico	0,02		0,02
Nucleidos cosmogénicos		0,015	0,015
Nucleidos primordiales			
Potasio-40	0,12	0,18	0,30
Rubidio-87		0,0006	0,0006
Serie del uranio-238 <u>a/</u>	0,09	0,95	1,04
Serie del torio-232 <u>a/</u>	0,14	0,19	0,33
Total (valores redondeados)	0,65	1,34	2,0

a/ Estos valores se refieren concretamente a las zonas templadas. En las zonas tropicales serían más bajos.

88. En el cuadro 1 se resumen los datos referentes a varias fuentes de irradiación natural expresados como dosis equivalente efectiva. La dosis equivalente efectiva anual mundial por persona resultante de fuentes naturales de radiación se calcula en 2 milisievert, de cuya cantidad aproximadamente la mitad se debe a inhalaciones en el interior de habitaciones de los productos de desintegración de vida corta del radón-222 y del radón-220, incluidos en la serie de uranio-238 y la serie del torio-232, respectivamente. La importancia relativa de la contribución de los productos de desintegración de vida corta del radón-222 y el radón-220 proviene de la utilización del nuevo concepto de la dosis equivalente efectiva. Esto supone multiplicar la dosis absorbida en el pulmón por un factor de calidad igual a 20 para las partículas alfa a fin de calcular la dosis equivalente en el pulmón, y multiplicar por un factor igual a 0,12, que es el factor de ponderación correspondiente al pulmón en el cálculo de la dosis equivalente efectiva. De este modo, el coeficiente de conversión global de dosis absorbida en el pulmón a dosis equivalente efectiva es de 2,4 sievert por gray. Puesto que los coeficientes de conversión globales correspondientes a los demás elementos que contribuyen en forma apreciable a la irradiación por fuentes naturales ascienden a un sievert por gray o menos, resultan más destacada la dosis equivalente efectiva debida a los productos de desintegración del radón-222 y el radón-220. Se prevé que las concentraciones medias en el interior de edificios del radón-222 y el radón-220 variarán de una región del mundo a otra, de conformidad con la tasa de ventilación y el tipo de morada. En el presente informe se calcula que, en comparación con el valor medio mundial, la irradiación debida a los productos de desintegración del radón-222 y radón-220 es alrededor de un 25% mayor en las latitudes templadas y alrededor de un 70% menor en las latitudes tropicales, lo que da por resultado un promedio dosis equivalentes efectivas provenientes de fuentes de radiación natural de 2,2 y 1,3 milisievert en las latitudes templadas y tropicales, respectivamente. El valor medio mundial de 2 milisievert por año concuerda razonablemente con los cálculos presentados en el informe del Comité de 1977 expresados como dosis absorbida. Se estima que en la actualidad la dosis equivalente eficaz colectiva mundial anual asciende a alrededor de 10^7 sievert-hombre.

b) Fuentes naturales modificadas por factores tecnológicos 6/

89. En la siguiente subsección se resumen las características de las fuentes definidas anteriormente como "modificadas por factores tecnológicos" (véanse los párrafos 81 a 83).

90. Centrales eléctricas alimentadas por carbón. El carbón contiene vestigios de radionucleidos naturales, los que, como resultado de la combustión del carbón, se liberan en el medio ambiente. Su redistribución de las profundidades de la corteza terrestre al medio ambiente puede modificar apreciablemente los campos de radiación ambiente y la irradiación de la población. Se ha obtenido nueva información sobre las mediciones de actividad en el carbón y sobre la conducta de los radionucleidos en centrales eléctricas y en torno a éstas. Por consiguiente, en la actualidad es posible realizar ciertas estimaciones de las dosis provenientes de estas fuentes.

91. Cuando se quema el carbón, se funde la materia mineral dando por resultado ceniza vitrificada. La mayor parte de ésta se retiene en la central eléctrica como ceniza de escoria, pero la fracción más liviana, el polvillo, es transportada junto

6/ Este tema se trata en detalle en el anexo C, titulado "Exposiciones a la radiación natural modificadas por factores tecnológicos".

con los gases calientes a la chimenea de la central desde donde, según la eficiencia de los aparatos colectores, se libera cierta fracción a la atmósfera. Se ha obtenido una estimación de las cantidades liberadas de radionucleidos en la atmósfera de valores conocidos de la descarga y mediciones de la concentración en el carbón y la ceniza. Se estima que las descargas calculadas son representativas de la situación actual en el plano mundial.

92. Se considera que las trayectorias principales de exposición a los radionucleidos emitidos de la población que vive en torno a las centrales eléctricas son las siguientes: inhalación durante el paso del penacho de humo, irradiación externa e inhalación e ingestión resultante de los radionucleidos depositados en el suelo. Se pueden realizar cálculos razonables de las dosis que afectan a las diversas partes del organismo y se pueden estimar compromisos de dosis para los diversos nucleidos.

93. Desde el punto de vista de los compromisos de dosis equivalentes efectivas colectivas, se ha concluido que cada una de las tres trayectorias mencionadas hace un aporte significativo. Los componentes predominantes son los isótopos del torio (respecto de la inhalación durante el paso de la nube) y los isótopos del radón (respecto de la irradiación interna resultante de la actividad depositada). Suponiendo que un 70% del carbón extraído en todo el mundo se utilice para la producción de energía eléctrica y que para producir un gigavatio-año de energía se necesite quemar tres millones de toneladas de carbón, se calcula que, a nivel mundial, el compromiso de dosis equivalente efectiva colectiva resultante del empleo de carbón en 1979 ascendía a alrededor de 2.000 sievert-hombre. La combustión de carbón para otros usos aumentaría un tanto la cantidad.

94. Utilización del fosfato mineral. El fosfato mineral es ampliamente utilizado como fuente de fósforo para fertilizantes. Contiene vestigios de uranio-238, radio-226, torio-232 y potasio-40, que se redistribuyen en el medio ambiente durante el tratamiento industria del mineral y su utilización. Esto se produce como consecuencia de las descargas de efluentes, el empleo de fertilizantes en la agricultura y la utilización de los subproductos y los materiales de desecho para otros fines.

95. Los efluentes industriales dan lugar a concentraciones variables de los radionucleidos correspondientes en las descargas líquidas o transportadas en el aire. El tipo y la cantidad de radionucleidos liberados dependen en gran medida de la tecnología utilizada para el tratamiento del mineral. La inhalación durante el paso de la nube y la ingestión de actividad depositada en el suelo son los mecanismos principales de irradiación; para cada uno de éstos se pueden obtener evaluaciones de dosis muy aproximadas, las que se tratan en el anexo C.

96. También es posible efectuar evaluaciones de dosis para los radionucleidos contenidos en los fertilizantes. A partir del conocimiento de la producción de fertilizantes, de la proporción de radionucleidos que contienen estas sustancias, de su distribución y utilización, de los niveles de radionucleidos en los cultivos alimentarios tratados, etc., se pueden obtener estimaciones aproximadas de las dosis. Estas dosis son administradas a personas que están expuestas por razones profesionales a los fertilizantes, y al público en general mediante diversos mecanismos de irradiación externa o interna.

97. El principal subproducto del tratamiento del fosfato mineral en las fábricas de tratamiento por vía húmedas es el yeso químico. En las fábricas de tratamiento por vía térmica, el principal producto final es la escoria de silicato de calcio.

El yeso químico se utiliza en lugar del yeso natural en los elementos de construcción prefabricados, el silicato de calcio se utiliza en construcciones ferroviarias y de hormigón. Estos dos materiales pueden contener concentraciones mucho mayores de radio-226 que la mayoría de los productos naturales. A raíz de los usos mencionados anteriormente sobreviene irradiación del público en general, y en vista de la composición en nucleidos y de las condiciones de irradiación, cabría prever que habría una irradiación considerable, digamos hasta un 30% mayor, para las personas que habitasen en casas en cuya construcción se hubiese utilizado yeso químico.

98. El Comité evaluó las exposiciones a la radiación que podrían resultar del ciclo completo de explotación del fosfato mineral, utilizando hipótesis simplificatorias razonables y considerando los radionucleidos más importantes. Basándose en la hipótesis de que un 10% del yeso químico producido se puede emplear en construcción de casas, el Comité llegó a la conclusión de que la contribución más importante a la dosis colectiva resultante de la explotación de fosfato mineral se derivaría de esa fuente, y superaría con mucho a los demás. Si pudiera evitarse ese empleo, el resto del compromiso de dosis ascendería aproximadamente a sólo 0,2% de la dosis potencial.

99. Utilización de materiales de construcción especiales. Se ha hallado que otros materiales a administrar dosis elevadas a los habitantes de viviendas que se construyen con éstos. Dichos materiales incluyen: piedra pómez, hormigón de esquistos alúmbricos, toba litoide, granito y relaves de plantas de tratamiento de uranio. Las dosis se deben a grandes concentraciones de potasio-40, radio-226 y torio-232. En algunos países, el muestreo de muchos materiales de construcción reveló en ciertos casos concentraciones excesivas de los nucleidos mencionados. No obstante, las tasas de dosis absorbidas medidas en los edificios que contienen dichos materiales suelen ser mucho más reducidas de lo que cabría esperar del contenido de sustancias radiactivas de los materiales considerados, ya que también en los mismos edificios se emplean materiales por lo general menos activos.

100. Exposición intensificada a los rayos cósmicos. Durante el vuelo, los pasajeros aéreos están expuestos a mayores tasas de dosis debidas al componente cósmico, que aumenta apreciablemente en función de la altitud. Por ejemplo, se observa un aumento en un factor de 20 en la tasa de dosis entre las altitudes de 4 y 12 kilómetros. Se ha calculado que la dosis equivalente efectiva colectiva administrada a la población mundial debida a vuelos comerciales en 1978 ascendió a alrededor de 2.000 sievert-hombre. Se han realizado evaluaciones análogas, concretamente para el caso del transporte aéreo supersónico. A pesar de que, debido a la altitud, la radiación de origen solar se añade al componente galáctico y que durante erupciones solares intensas ocasionales los niveles de radiación pueden elevarse considerablemente, en la actualidad estas fuentes de irradiación no contribuyen en forma importante a la exposición a la radiación natural de la población mundial. No obstante, las dosis particulares recibidas por personas tales como tripulantes de líneas aéreas no dejan de tener importancia.

101. No es probable que los ejemplos de irradiación modificada por factores tecnológicos señalados a la atención del Comité sean completos. A partir de las evaluaciones realizadas, el Comité llega a la conclusión de que estas irradiaciones no contribuyen en forma importante a la dosis colectiva recibida por la humanidad a escala mundial. No obstante, en determinadas zonas o para grupos de población expuestos en condiciones extremas, pueden presentarse aumentos apreciables en las dosis particulares de radiación natural. El actual estado de los conocimientos no permite estimaciones muy precisas de las dosis colectivas causadas por estas fuentes, y se necesitan mayores investigaciones con este objeto.

c) Bienes de consumo emisores de radiaciones 7/

102. Relojes luminosos. La energía emitida durante la desintegración radiactiva del radio-226, el prometio-147 y el tritio puede convertirse en luz mediante un escintilador. Este fenómeno se ha utilizado ampliamente en la industria de pintura de esferas para la iluminación de relojes y otros aparatos científicos. Recientemente se ha utilizado tritio en lugar de radio, ya que su radiación es menos penetrante que la que acompaña a la desintegración del radio y sus descendientes, causando de este modo menos irradiación externa de los usuarios. Con el advenimiento de las esferas que utilizan cristales líquidos, se está haciendo cada vez más común el empleo de fuentes luminosas de tritio gaseoso para iluminar relojes digitales. En varios países se ha evaluado la dosis equivalente colectiva anual resultante de relojes radioluminiscentes que utilizan diferentes radionucleidos. Cuando estas cifras se extrapolan a la población mundial, la dosis asciende a un orden de 2.000 sievert-hombre.

103. Dispositivos electrónicos y eléctricos. Estos incluyen cebadores de lámparas fluorescentes, tubos disparadores en aparatos eléctricos y dispositivos de protección contravoltaje excesivos. Los radionucleidos incorporados en este tipo de equipo para un funcionamiento mejor, más rápido y más fiable incluyen el criptón-85, el prometio-147 y el torio-232. A pesar del número elevado de estos dispositivos en funcionamiento y de la cuantía importante de actividad que interviene, se prevé que las dosis resultantes son muy reducidas. No obstante, pueden resultar apreciables en caso de roturas por accidente o al desechar los dispositivos sin las debidas precauciones.

104. Dispositivos antiestáticos. Estos se utilizan en la industria y, en ciertos países, en los artefactos domésticos para reducir la acumulación de carga eléctrica en ciertos materiales. Se utiliza principalmente el polonio-210 en estos dispositivos para ionizar el aire. En condiciones normales de empleo, el único peligro importante resultaría de irradiación externa debido al muy reducido componente de radiación gamma emitida. No obstante, en condiciones de abuso extremo (por ejemplo, impacto o incendio) puede sufrir alteración la integridad de los componentes y puede ocasionarse una elevada dosis potencial proveniente de irradiación interna.

105. Detectores de humo. Estos artefactos suelen contener americio-241. En muchos países cuentan con un gran mercado en edificios industriales, públicos, comerciales y particulares, debido a que los expertos en prevención de incendios reconocen su valor para la protección de vidas y bienes. Suponiendo un período de vida útil de diez años para los muchos millones de unidades que se han instalado, y suponiendo que se puedan desechar en rellenos sanitarios o por incineración, se concluye que el compromiso de dosis equivalente efectiva colectiva resultante de la producción correspondiente a 1978 asciende alrededor de 10 sievert-hombre. La mayor parte de esta dosis resulta de la irradiación externa durante el período de vida útil de los detectores de humo.

106. Productos que contienen uranio y torio. El uranio se usa básicamente como pigmento en cerámica y cristalería. El torio se utiliza en camisas incandescentes y en ciertos productos ópticos. El principal riesgo resultante de la utilización de estas sustancias en condiciones normales consiste en la dosis de los productos

7/ Este tema se trata en detalle en el anexo C, titulado "Exposiciones a la radiación natural modificadas por factores tecnológicos".

de desintegración emisores de radiaciones beta y, en circunstancias especiales, determinados tejidos podrían recibir dosis elevada. Por ejemplo, el cristalino del ojo podría recibir una dosis bastante elevada de lentes ópticos que contuviesen grandes porcentajes de torio. Igualmente podría resultar una elevada dosis administrada al epitelio oral por el uranio incorporado en la porcelana utilizada en la odontología protésica para imitar la fluorescencia de los dientes naturales.

107. Televisores. Durante su funcionamiento normal, los televisores producen rayos X poco penetrantes que pueden dar origen a irradiación externa. No obstante, la emisión de rayos X de los receptores de televisión en colores de reciente construcción es insignificante en condiciones de funcionamiento normal y mantenimiento educado.

d) El radón y sus productos de desintegración 8/

108. Cada vez existen mayores pruebas de que una contribución muy importante a la exposición a fuentes naturales proviene del radón-222 (generalmente conocido como radón) y sus productos de desintegración. Otro isótopo radiactivo que existe en la naturaleza, el radón-220 (conocido generalmente como torón), también contribuye con cierta dosis. Estos hechos impulsaron al Comité a investigar en detalle la irradiación por estos gases y a examinar las variables físicas y fisiológicas más importantes que influyan sobre la exposición.

109. El radón y el torón son gases radiactivos existentes en la naturaleza, productos de la serie de desintegración del uranio y el torio, respectivamente. El uranio y el torio se presentan en la naturaleza como elementos primordiales en las rocas. Por difusión, una pequeña proporción del radón y el torón producidos se escapan de dichos materiales y se dispersa en el agua freática y en el aire, donde estos radionucleidos pueden hallarse en concentraciones variables. El radón y el torón se desintegran en sus numerosos descendientes hasta que las series del uranio y el torio acaban en isótopos estables del plomo.

110. El Comité ha examinado los mecanismos de liberación del radón y el torón de fuentes naturales y las variables que influyen en esta liberación (tamaño de partículas de las rocas, porosidad, humedad); los mecanismos de difusión de estos gases en el agua y el aire circundantes; la transferencia de radón y torón a través del suelo y su exhalación al aire; la dispersión en el aire de estos gases y de sus productos de desintegración y la influencia del gradiente vertical de temperatura, la fuerza del viento y la turbulencia del aire en dicha dispersión. Debido a la corta semivida del torón (aproximadamente un minuto), este gas sólo se halla a unas pocas decenas de metros sobre el suelo, mientras el radón, con una semivida de aproximadamente cuatro días, alcanza una altitud de varios kilómetros. La situación geográfica y las condiciones meteorológicas reinantes afectan las concentraciones de estos nucleidos a nivel del suelo, con pronunciadas variaciones estacionales. Por lo general, en las masas de aire sobre las regiones continentales se presentan las concentraciones más elevadas, mientras que en las masas de aire sobre los océanos o las regiones árticas las concentraciones son más reducidas. Los valores medios de la concentración del radón al aire libre a nivel del suelo varían entre 0,1 y 10 becquerel por metro cúbico. Un valor típico en regiones pobladas es de 3 becquerel por metro cúbico.

8/ Este tema se trata en detalle en el anexo D, titulado, "Exposiciones al radón y al torón y sus productos de desintegración".

111. Debido a la rápida difusión del radón en la atmósfera, la concentración de actividades de los descendientes del radón en el aire a nivel del suelo en general registra una deficiencia en comparación con la concentración del radón. El factor de equilibrio entre el radón y el torón y sus productos de desintegración es una medida de esta deficiencia. El factor de equilibrio depende de muchas otras condiciones, tales como las constantes de desintegración de los diversos descendientes, la concentración y distribución por tamaños de las partículas de aerosol en el aire, el depósito de estos aerosoles en las superficies circundantes y la tasa de intercambio de aire, condiciones todas que pueden investigarse experimentalmente. Para los fines prácticos es importante señalar que una baja tasa de ventilación en espacios cerrados pueda dar por resultado una elevada exposición a productos de desintegración del radón y el torón.

112. La concentración del radón en el agua puede variar desde prácticamente cero hasta valores de alrededor de unos 100 megabecquerel por metro cúbico en ciertas aguas. Las dosis de radiación causadas por el radón en el agua potable se deben en parte a la ingestión, pero, en su mayor parte, a la inhalación de los descendientes del radón producidos por desintegración del radón liberado del agua. Es posible efectuar cálculos aproximados de las dosis relativas resultantes de una concentración dada de radón en el agua potable. No obstante, debido a que las mediciones publicadas a menudo se han realizado en regiones conocidas por su alto contenido de uranio o radio, no se puede sin más concluir que dichos valores sean representativos de valores medios aplicables a toda una región o a todo un país. La información disponible señala que la dosis de radiación administrada por el radón en el agua potable por lo general no es un problema de importancia para la exposición de la población en general, excepto en ciertos casos en que, debido a condiciones geológicas especiales, el contenido de radón es particularmente elevado.

113. Puesto que la mayor parte de la dosis de radiación proveniente del radón es recibida por el hombre mientras vive en el interior de edificios, el Comité ha examinado un gran volumen de datos sobre las concentraciones medidas del radón y el torón y sus productos de desintegración en casas situadas en diferentes partes del mundo. Estas concentraciones, que suelen ser del orden de 20 becquerel por metro cúbico, son mayores que para el aire libre. Pueden generarse concentraciones sumamente elevadas en el interior de los edificios debido a bajas tasas de ventilación, o debido a elevados niveles de radón a causa de un contenido alto de radio en los materiales de construcción o en los cimientos de la casa, o de uso de agua rica en radio. En condiciones desfavorables pueden hallarse valores máximos de 10.000 becquerel por metro cúbico de aire o más.

114. Los descendientes del radón producen irradiación en minas. En el examen del Comité se han considerado la irradiación en muchas minas y países diferentes. Este examen ha demostrado que, según el tipo de roca y las condiciones de ventilación, las concentraciones que se observan en minas de uranio suelen ser menores de 1.000 becquerel por metro cúbico de aire. No obstante, en ciertas secciones no ventiladas de las minas pueden presentarse concentraciones hasta 1.000 veces superiores. En las minas que no son de uranio, las concentraciones medias son aproximadamente las mismas, pero las necesidades de ventilación para alcanzar dichos valores no son tan estrictas.

115. La irradiación debida a productos de desintegración del radón y el torón provienen de la inhalación y tiene lugar en las vías respiratorias. La dosis efectiva administrada a las diversas estructuras anatómicas depende de la proporción relativa de descendientes adheridos y libres, el tamaño de las partículas de aerosol a las que se adhieren y de la función pulmonar. En promedio,

la dosis de descendientes del radón administrado a la capa de células basales bronquiales supera en un factor de 5 a 8 la dosis administrada a la región pulmonar. Utilizando factores de ponderación para la distribución de la dosis administrada al pulmón y la dosis media para el pulmón, se puede calcular la correspondiente dosis equivalente efectiva. En el cuadro 2 figuran los promedios mundiales de las dosis equivalentes efectivas anuales causadas por inhalación del radón y el torón y sus productos de desintegración. Se estima que los valores en las regiones templadas y tropicales son 25% mayores, y 70% menores, respectivamente, que estos promedios mundiales. Cabe señalar que en las latitudes de las zonas templadas, la dosis en el interior de las habitaciones es alrededor de 15 veces superior a la dosis al aire libre, tanto debido a que las concentraciones de los gases radiactivos son mayores al interior de las casa como debido a que las personas por lo general pasan más tiempo en interiores que al aire libre.

Cuadro 2

Promedios mundiales de las dosis equivalentes efectivas anuales (milisievert) causadas por exposición a los descendientes del radón y el torón por inhalación en diversas condiciones

<u>Condición</u>	<u>Descendientes del radón</u>	<u>Descendientes del torón a/</u>
Al aire libre <u>b/</u>	0,06	0,02
En el interior de edificios <u>b/</u>	0,01	0,15
En minas de uranio <u>c/</u>	~ 15	

a/ Basado en datos limitados.

b/ Se consideró que el factor de estadía era de 0,8 en el interior de habitaciones y 0,2 al aire libre.

c/ Se aplica a los años 1977 a 1979.

116. En vista de la importancia atribuida a la elaboración de programas de conservación de energía, el Comité ha esbozado ciertas consideraciones generales sobre el posible aumento de la dosis equivalente efectiva debida a la inhalación de descendientes del radón que puede tener lugar como consecuencia de dichos programas. Una menor ventilación en las fábricas y, especialmente en las minas, podría aumentar considerablemente los valores de las dosis equivalentes efectivas colectivas de los trabajadores. En las casas, una mayor ventilación también daría lugar a un aumento de dosis (y, por lo tanto, presumiblemente, a consecuencias para la salud), según el tipo de casas, su ubicación, el tipo de calefacción, la ventilación y otros factores. El Comité ha esbozado los principios básicos para la evaluación de los efectos radiológicos de dichas medidas de conservación de energía.

3. Irradiación debida a explosiones nucleares 9/

117. SI BIEN LA INTENSIDAD DE LAS EXPLOSIONES NUCLEARES EN LA ATMOSFERA HA DISMINUIDO EN COMPARACION CON LOS PERIODOS 1954-1958 Y 1961-1962, AUN SIGUEN HACIENDOSE A VECES ENSAYOS EN LA ATMOSFERA. TODAS ESTAS EXPLOSIONES PRODUCEN UNA PRECIPITACION RADIATIVA QUE LA POBLACION MUNDIAL RECIBE CONTINUAMENTE. SE CALCULA QUE LA IRRADIACION DEBIDA A TODOS LOS ENSAYOS NUCLEARES REALIZADOS HASTA 1980 EQUIVALE APROXIMADAMENTE A LA IRRADIACION ADICIONAL DURANTE CUATRO AÑOS DE LA POBLACION MUNDIAL DEBIDA A LA RADIACION NATURAL AMBIENTE. UNA GRAN PARTE DE LA IRRADIACION DEBIDA A LA PRECIPITACION RADIATIVA SE IRA RECIBIENDO A DOSIS BAJAS DURANTE LOS AÑOS FUTUROS. TODO NUEVO ENSAYO ATMOSFERICO ENTRAÑA CIERTO GRADO DE EXPOSICION A LAS RADIACIONES PARA LAS GENERACIONES ACTUALES Y FUTURAS DE LA HUMANIDAD.

118. El Comité ha seguido evaluando la irradiación a que ha estado sometida la población mundial a causa de la descarga en el medio de los materiales radiactivos producidos en las explosiones nucleares. Desde 1945 se han realizado explosiones de ese tipo en la atmósfera. En los períodos 1954-1958 y 1961-1962 se llevaron a cabo intensos programas de ensayos nucleares. A fines de 1980 tuvieron lugar más explosiones, aunque en 1979-1981 no se realizaron ensayos. El Comité no ha examinado la irradiación debida a pequeñas emisiones que pueden estar relacionadas con los ensayos subterráneos.

119. Los residuos radiactivos de las explosiones nucleares llegan a la troposfera y la estratosfera de la atmósfera; la distribución depende de la ubicación y la potencia de la explosión. El Comité ha presentado cálculos de la cantidad de materiales radiactivos producidos en los ensayos nucleares atmosféricos, de la dispersión en las regiones de la atmósfera y de la cantidad de residuos depositados en la superficie terrestre. Al calcular la contaminación se han tenido en cuenta las trayectorias que conducen a la irradiación de los seres humanos, inclusive la inhalación de contaminantes que se encuentran en el aire, la ingestión de radionucleidos en los alimentos y la irradiación externa causada por la actividad que tiene lugar en el suelo.

120. En el informe del Comité correspondiente a 1977 figuraban cálculos de los compromisos de dosis para la población mundial debidos a los ensayos nucleares realizados antes de 1976. En el presente informe se actualizan esos cálculos hasta fines de 1981. El Comité ha evaluado por separado los compromisos de dosis para las poblaciones de los hemisferios boreal y austral y ha calculado el valor medio para el mundo. Las estimaciones de las dosis son más altas para el hemisferio boreal que para el hemisferio austral, ya que la mayoría de los ensayos, y por consiguiente la mayor parte del depósito, se produce en el hemisferio boreal.

9/ Este tema se examina ampliamente en el anexo E (Irradiación debida a explosiones nucleares).

Cuadro 3

Resumen de los compromisos de dosis equivalentes efectivas y de las contribuciones de distintas trayectorias debidos a explosiones nucleares realizadas en la atmósfera hasta fines de 1981

Zona	Compromisos de dosis efectiva equivalente (milisievert)	Contribución de la trayectoria (%) Irradiación		
		Ingestión	externa	Inhalación
Zona templada septentrional	4,5	71	24	5
Zona templada meridional	3,1	90	8	2
Todo el mundo	3,8	79	18	3

121. En el cuadro 3 se resumen las conclusiones del Comité; en él se indican los compromisos de dosis equivalentes efectivas debidas a ensayos nucleares para las poblaciones que viven en las zonas templadas septentrional y meridional y en todo el mundo. La trayectoria más significativa es la ingestión, debido principalmente al carbono-14, el cesio-137 y el estroncio-90; a continuación figura la irradiación externa debida al cesio-137 y otros varios radionucleidos de corta semivida. El compromiso de dosis equivalente efectiva colectiva debida a los ensayos realizados en la atmósfera hasta fines de 1981 es de 3×10^7 sievert-hombre. Este valor, que tiene en cuenta el crecimiento futuro estimado de la población mundial, equivale aproximadamente a cuatro años de la irradiación que sufre la población actual debido a las fuentes naturales. La mayor parte del compromiso de dosis equivalente efectiva colectiva puede imputarse al programa de ensayos que se llevó a cabo en 1961 y 1962 (580 días y 370 días de irradiación actual de la población mundial debida a fuentes naturales, respectivamente). La dosis anual per cápita alcanzó un máximo en 1963, que correspondía aproximadamente al 7% de la irradiación media anual debida a fuentes naturales; en 1966 esta cifra había disminuido aproximadamente al 2% y actualmente es inferior al 1%.

122. En estas evaluaciones el Comité consideró 21 radionucleidos. Cuatro de ellos contribuyen en más del 1% al compromiso de dosis equivalente efectiva colectiva de la población mundial. Esos nucleidos, en orden de importancia decreciente, son los siguientes: carbono-14, cesio-137, circonio-95 y estroncio-90. La población mundial ya ha recibido la mayor parte de la contribución del circonio-95 al compromiso de dosis debido a ensayos realizados hasta 1981. Para el cesio-137 y el estroncio-90, una gran parte del compromiso de dosis se habrá recibido a fines del presente siglo. Sólo el carbono-14 continuará contribuyendo a esa dosis hasta el futuro lejano, aunque a bajas tasas de dosis, debido a su larga semivida. Tal vez a largo plazo también haya que tener en cuenta los productos de desintegración de largo período de los actínidos, pero los datos provisionales indican que esos productos representan una contribución adicional de tasas muy bajas, del orden del 0,1%, al compromiso de dosis equivalente efectiva total.

123. Las evaluaciones de las dosis debidas a la precipitación radiactiva que figuran en el presente informe sólo difieren marginalmente de las evaluaciones presentadas en el pasado, ya que las cantidades de actividad liberadas en las explosiones nucleares, menos numerosas, de los últimos años han sido relativamente pequeñas. Sin embargo, las actuales evaluaciones de la dosis son más completas,

pues se han tenido en cuenta nucleidos adicionales y otras posibles trayectorias de transferencia, se han reevaluado los coeficientes de transferencia y las estimaciones de la dosis abarcan mediciones más recientes de la precipitación radiactiva. Aún existen algunas incertidumbres con respecto a las mediciones y a los modelos. Es razonable, cabe esperar que los nuevos conocimientos que se adquieran en el futuro lleven a hacer ajustes y mejoras de menor importancia en las evaluaciones del Comité.

4. Irradiación debida a la producción de energía nuclear 10/

124. EL COMPROMISO DE DOSIS COLECTIVA DERIVADO DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL DEBIDA AL FUNCIONAMIENTO DE REACTORES NUCLEARES APORTA UNA CONTRIBUCION RELATIVAMENTE DE Poca importancia a las consecuencias radiologicas totales del ciclo del combustible nuclear. LA EXTRACCION Y EL TRATAMIENTO DEL MINERAL DE URANIO, MEDIANTE LA EMANACION DE RADON Y SUS PRODUCTOS DESCENDIENTES PROCEDENTES DE LOS RESIDUOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO, APORTAN UNA CONTRIBUCION IMPORTANTE AL COMPROMISO DE DOSIS COLECTIVA. CABE PREVER QUE EL COMPROMISO DE DOSIS DEBIDO A LA PRODUCCION DE ENERGIA NUCLEAR, SUPONIENDO QUE SE USE LA TECNOLOGIA ACTUAL, AUMENTARA CON EL AUMENTO DE LA CAPACIDAD NUCLEAR INSTALADA. LA UTILIZACION DEL PLUTONIO, EN REACTORES RECICLADORES O EN REACTORES REPRODUCTORES RAPIDOS, O EN OTRAS TECNOLOGIAS AVANZADAS RELATIVAS AL CICLO DEL COMBUSTIBLE, REDUCIRIA CONSIDERABLEMENTE EL COMPROMISO DE DOSIS COLECTIVA POR UNIDAD DE ENERGIA GENERADA.

125. El número de reactores nucleares en funcionamiento para la generación de energía eléctrica ha aumentado desde la preparación del informe anterior del Comité; en 1979 había 235 reactores en 22 países, con una capacidad instalada total de generación de energía nuclear de unos 120 gigavatios de energía eléctrica [GW(e)]: esto representa la duplicación del número de centrales nucleares instaladas en el período 1975-1979 examinado en el informe del Comité. Las proyecciones para el año 2000 son algo inciertas, pero en la actualidad son del orden de 1.000-1.600 GW(e), que es aproximadamente dos terceras partes de la capacidad proyectada para el mismo año en el informe anterior. Los cálculos revisados en muchos países confirman que el aumento de la capacidad de generación será menor que lo que se había predicho anteriormente.

126. El ciclo del combustible nuclear consta de muchas etapas: extracción y tratamiento del mineral de uranio; conversión a diversas formas químicas; enriquecimiento del contenido isotópico de uranio-235 (en algunos casos); fabricación de los elementos combustibles; producción de energía en los reactores nucleares, reelaboración del combustible irradiado y reciclaje de los nucleidos fisibles y fértiles recuperados (en algunos casos); transporte de materiales nucleares de unas instalaciones a otras en diversas etapas del ciclo del combustible; y, por último, eliminación definitiva de los desechos radiactivos. Aunque casi toda la actividad artificial asociada con la producción de energía nuclear está presente en el combustible nuclear irradiado en cada una de las etapas del ciclo mencionadas anteriormente, se producen escapes de pequeñas cantidades de materiales radiactivos al medio ambiente. La mayoría de esos escapes, dado a la corta semivida de los radionucleidos y su limitada movilidad ambiental, sólo tienen efectos locales o regionales. Sin embargo, algunos radionucleidos que tienen semividas muy largas o que se dispersan rápidamente en el medio ambiente se distribuyen por todo el mundo y pueden contribuir a la irradiación de los seres humanos y del medio ambiente a escala mundial.

^{10/} Este tema se examina ampliamente en el anexo F (Irradiación debida a la producción de energía nuclear).

127. El Comité ha evaluado, para cada etapa del ciclo del combustible nuclear, las dosis que reciben las personas debido a escapes de materiales radiactivos. Las evaluaciones del Comité se han deducido en función de los compromisos de dosis colectivas absorbidas por unidad de energía generada, es decir, se expresan en gray-hombre por GW(e) año. En el anexo A se examinan ampliamente los modelos mediante los cuales los compromisos de dosis absorbidas para varios órganos o tejidos del cuerpo humano se pueden convertir en compromisos de dosis equivalentes por unidad de electricidad generada.

128. Como las descargas de materiales radiactivos al medio ambiente que se producen en las instalaciones nucleares están sujetas a control técnico, las dosis que reciben las personas concretas suelen estar muy por debajo de los límites recomendados. Hay cuatro grupos de personas que están expuestas a estos tipos de fuentes: las que resultan irradiadas por razón de su trabajo en las centrales; la población local que reside en un radio de unos cientos de kilómetros de las centrales; la población regional que reside en un radio de unos miles de kilómetros; y, por último, toda la población mundial. En esta sección sólo se examinarán los tres últimos grupos, ya que las personas irradiadas debido a su profesión se examinan por separado en el anexo H.

129. Como las concentraciones de los materiales descargados por las instalaciones nucleares son bajas en el punto de descarga y sumamente bajas en el medio ambiente circundante, hay que utilizar modelos para estimar las dosis que reciben las poblaciones situadas a distancias grandes de las plantas y durante largos períodos de tiempo. Los valores de los parámetros de transferencia de los diversos radionucleidos de esos modelos se deducen a partir de los resultados de la vigilancia ambiental y de experimentos de diversos tipos. El punto de partida más importante de estos modelos es la cantidad y el tipo de material radiactivo que descargan diversas instalaciones nucleares. El Comité dispuso de esta información esencialmente hasta el año 1979, y la convirtió en cantidades medias descargadas por GW(e) generado entre 1975 y 1979. Esos valores medios no corresponden a ninguna instalación concreta, y reflejan las diferencias en el diseño de los reactores y los cambios en la tasas de descarga entre los reactores nuevos y antiguos. Aunque se considera que las tasas normalizadas de descarga son representativas de la situación actual en materia de producción de energía nucleoelectrónica en todo el mundo, no se deben extrapolar a las prácticas futuras ni a plantas nucleares concretas sin gran cautela y sin hacer las correcciones oportunas.

130. El Comité, a fin de estimar los compromisos de dosis colectivas correspondientes a las descargas normalizadas mencionadas anteriormente, utilizó para sus evaluaciones emplazamientos hipotéticos cuyas características de ubicación son aproximadamente representativas de cada una de las etapas principales del ciclo del combustible, a saber, extracción y tratamiento del mineral, fabricación de combustible, operación del reactor y reelaboración. El Comité también supuso que el medio ambiente que recibe las descargas de cada planta modelo era un medio ambiente hipotético que tenía las características principales de los emplazamientos existentes y permitía hacer cálculos de dosis para las trayectorias más comunes de transferencia al ser humano de los radionucleidos descargados. Cabe subrayar que esas amplias generalizaciones concebidas para obtener estimaciones de la repercusión global de las instalaciones nucleares en todo el mundo no son representativas de ningún sitio concreto. Para hacer cálculos referidos a sitios concretos se necesitarían datos sobre las descargas concretas, las características ambientales locales y regionales y las trayectorias reales de transferencia de radionucleidos al ser humano.

131. Para calcular el compromiso de dosis colectiva es necesario sumar para todo el período de irradiación la tasa de dosis instantánea absorbida por cada órgano o tejido. Esta operación puede ser difícil, y el Comité utilizó aproximaciones en cuanto al tamaño de la población mundial y a las costumbres dietéticas y de otro tipo de las personas irradiadas, aproximaciones que se suponían estables a lo largo del período durante el que se efectuaba la operación de suma. Utilizando estas hipótesis principales, el Comité examinó las diversas etapas del ciclo del combustible nuclear y calculó las contribuciones a la dosis que recibe el público para los diversos nucleidos y trayectorias de irradiación aplicables a cada fuente de irradiación.

132. Por último, el Comité trató de estimar el compromiso de dosis equivalente efectiva colectiva para el público debido a la producción de energía nuclear. Como se indica en el anexo A, estas cifras son indicativas del perjuicio sanitario global que sufre la humanidad debido a esta fuente de radiación, con las hipótesis indicadas. En el cuadro 4 se normalizan los valores de esta cantidad, pasándolos a un GW año de energía eléctrica producida. En los próximos 100 años, el total será de aproximadamente 20 sievert-hombre por GW año, aunque a lo largo de períodos de tiempo muy largos se producirán irradiaciones adicionales a bajas tasas anuales. En el cuadro 4 se indica cómo se acumularán con el tiempo, hasta 10.000 años, las dosis comprometidas colectivas por GW año.

Cuadro 4

Estimaciones del compromiso de dosis equivalente efectiva colectiva (sievert-hombre) que recibe el público debido a la producción de energía nuclear, normalizada a un GW año de energía eléctrica producida, y acumulación con el tiempo

Años	Operación del ciclo del combustible (excluidos los residuos de las plantas de tratamiento y la eliminación definitiva de desechos)		Residuos de las plantas de tratamiento	Eliminación definitiva de desechos de alto nivel de radiactividad
	Local y regional	Mundial		
10 ²	6	12	3	0
10 ⁴	6	70	500	0

133. En el cuadro 4 no se dan estimaciones para períodos superiores a 10.000 años, cuando es probable que las fuentes dominantes sean las emanaciones de radón de los residuos de las plantas de tratamiento y de yodo-129 proveniente de las plantas de reelaboración o de los depósitos de combustible gastado. Para esos períodos, los métodos conservadores de cálculo utilizados por el Comité habrían conducido a valores más altos del compromiso de dosis equivalente colectiva, que no serían superiores a unos miles de sievert-hombre por GW(e) año en las columnas "Mundial" y "Residuos de las plantas de tratamiento" combinadas, y no serían superiores a unas decenas de sievert-hombre por GW(e) año en la columna "Eliminación definitiva de desechos de alto nivel de radiactividad". No obstante, las incertidumbres asociadas con las evaluaciones de la dosis en el futuro lejano y la limitada

utilidad de estas evaluaciones no pueden resumirse fácilmente. Para más detalles, se remite al lector al anexo F, especialmente a los párrafos 194 a 201 y 207 a 212 de dicho anexo.

134. Se calcula que la contribución local y regional debida a las operaciones del ciclo del combustible es de 5,7 sievert-hombre por GW(e) año; de esta cifra, 0,5 unidades corresponden a la extracción, y el tratamiento del mineral y a la fabricación de elementos combustibles, 4,2 al funcionamiento de reactores y 1,0 a la reelaboración del combustible. El 90% de este compromiso de dosis se recibe en el año siguiente a la descarga y el resto durante los años siguientes. Para los nucleidos que se dispersan por todo el mundo, el compromiso de dosis colectiva es de 670 sievert-hombre por GW(e) año, el 90% de esta dosis se recibe en el período comprendido entre 10^4 y 10^8 años a partir del momento de la descarga. Para todas las estimaciones futuras las cifras son inciertas, especialmente para los residuos de las plantas de tratamiento, pues las distintas prácticas de gestión o los cambios climáticos podrían reducir los valores en varios órdenes de magnitud. Asimismo, la introducción de reactores generadores rápidos podría reducir los requisitos relativos al mineral de uranio en dos órdenes de magnitud, lo que afectaría en el mismo factor a los compromisos de dosis debidos a los residuos de las plantas de tratamiento. Otros adelantos tecnológicos en relación con el ciclo del combustible podrían conducir a reducciones sustanciales.

135. Los estudios disponibles sobre el compromiso de dosis debido a la eliminación de desechos radiactivos de alto nivel de radiactividad en formaciones geológicas profundas indican que esta contribución, en comparación con la de otras fuentes, es despreciable por un período de hasta varios miles de años. Para períodos mayores de 10.000 años, la dosis correspondiente puede ser aproximadamente sólo de entre el 0,1 y el 1% del compromiso de dosis normalizado total debido a la producción de energía nuclear.

136. A fin de estimar la dosis anual media o máxima per cápita en el futuro debida a la producción de energía nuclear, es necesario utilizar un compromiso de dosis colectiva incompleta; en este trabajo se considera un período de 500 años. Las descargas durante la etapa operacional del ciclo del combustible nuclear conducen a un compromiso de dosis equivalente efectiva colectiva local y regional que se recibe íntegramente en ese período. Para los nucleidos que se dispersan por todo el mundo, el compromiso de dosis colectiva incompleta a los 500 años es de 18 sievert-hombre por GW(e) año. En la elección de la cifra de 500 años como duración media de la práctica de producir energía por fisión nuclear está implícita la utilización de reactores generadores que reducirían la tasa de extracción de mineral. Por lo tanto, para el compromiso de dosis colectiva incompleta debido a la extracción y el tratamiento del mineral, sobre la base del actual ciclo del combustible, se considera un período de 100 años y es probable que esta dosis sólo se deba a las descargas de radón, lo que da 2,5 sievert-hombre por GW(e) año. Así pues, partiendo de los supuestos pesimistas de que no se logren adelantos tecnológicos y de que los actuales niveles de descarga continúen durante 500 años, la dosis colectiva anual máxima sería aproximadamente de 25 sievert hombre por GW(e) año. En el cuadro 5 se indican las dosis anuales colectivas y per cápita para un programa nuclear teórico hasta el año 2500, suponiendo de nuevo que no se reduzcan los actuales niveles de descarga y que la generación de energía eléctrica alcance aproximadamente la cifra de 10^4 GW(e) año en el año 2500. Puede observarse que, incluso con los supuestos pesimistas utilizados, el nivel de la dosis anual per cápita debida a las descargas de materiales radiactivos representaría el equivalente del 1% de la irradiación media debida a la radiación natural ambiente. Una vez terminada esta práctica, las dosis per cápita se reducirían aproximadamente al 1% de los valores finales al cabo de 100 años.

Cuadro 5

Dosis anuales per cápita debidas a la generación continua
de energía nucleoelectrica hasta el año 2500

Concepto	Año			
	1980	2000	2100	2500
Generación anual proyectada de energía nuclear eléctrica (GW(e)a)	80	1 000	10 000	10 000
Dosis efectiva colectiva anual (sievert-hombre)	500	10 000	200 000	250 000
Población mundial (miles de millones de personas)	4	10	10	10
Dosis per cápita anual (microsievert)	0,1	1	20	25
Porcentaje de la exposición media a fuentes naturales de radiación (%)	0,005	0,05	1	1

137. Debe subrayarse de nuevo que la extrapolación al futuro es muy incierta y en gran medida especulativa: por ejemplo, durante el pasado decenio la elaboración de nuevos conceptos en materia de protección contra la radiación, la mejora de los criterios de diseño para las nuevas plantas y las mejoras tecnológicas en las plantas antiguas han conducido a una disminución de las descargas en el medio ambiente, a pesar del aumento de la producción de energía eléctrica de las centrales.

138. El Comité hizo un primer intento de evaluar el compromiso de dosis colectiva derivada de la descarga accidental de materiales radiactivos, sobre la base de dos accidentes importantes para los que se disponía de datos sobre la irradiación de las personas y el medio ambiente. Sobre la base de estos dos accidentes, resultó imposible evaluar retrospectivamente el componente del compromiso de dosis colectiva debido a la descarga accidental de radiactividad en los programas de energía nuclear.

5. Irradiación profesional ^{11/}

139. EL COMITE EXAMINO SUS CALCULOS DE LAS DOSIS MEDIAS RECIBIDAS POR DIVERSOS GRUPOS DE TRABAJADORES Y LAS DOSIS COLECTIVAS DE DIVERSAS OCUPACIONES. SE HA PERFECCIONADO LA METODOLOGIA DESARROLLADA EN EL INFORME ANTERIOR PARA EXTRAER PARAMETROS DE LAS DISTRIBUCIONES DE DOSIS PARA HACER COMPARACIONES. MEDIANTE ESTE ANALISIS EL COMITE PUDO EVALUAR LAS DOSIS COLECTIVAS DE VARIAS OCUPACIONES E IDENTIFICAR VARIOS GRUPOS DE TRABAJADORES CUYAS IRRADIACIONES MEDIAS ERAN MAYORES QUE LAS DE OTROS GRUPOS. EL VALOR ABSOLUTO DE ESTAS DOSIS PUEDE VARIAR EN LAS DISTINTAS INSTALACIONES Y ENTRE TRABAJADORES QUE DESEMPEÑAN FUNCIONES SIMILARES EN PAISES DISTINTOS. SIN EMBARGO, PARA LAS OPERACIONES HABITUALES, LA DIFERENCIA EN LOS NIVELES DE DOSIS GENERALMENTE NO PASA DEL 50% DE LA DOSIS MAXIMA AUTORIZADA.

^{11/} Este tema se trata con mayor amplitud en el anexo H, titulado "Irradiación profesional".

140. Como en ocasiones anteriores, el Comité actualizó y analizó la información existente sobre la exposición a las radiaciones de diversas categorías de trabajadores como consecuencia de su ocupación. Es necesario conocer los datos acerca de la irradiación profesional, tanto individual como colectiva, para evaluar las tendencias de las dosis recibidas en diversas prácticas; para evaluar el nivel de los riesgos individuales de los trabajadores directamente expuestos a radiaciones con el objeto de establecer comparaciones con los riesgos de otras ocupaciones; y para evaluar la repercusión radiológica total por unidad de práctica en la población de fuentes distintas. Las diferencias en los métodos generales empleados para vigilar a los trabajadores irradiados en diversos países, así como las dificultades técnicas, contribuyen a la falta de homogeneidad de los datos disponibles y limitan hasta cierto punto su utilidad. Sin embargo, a juicio del Comité, un análisis concienzudo de la información existente puede ser muy valioso, y por lo menos puede suministrar algunos antecedentes preliminares objetivos respecto de las necesidades mencionadas.

141. En el informe anterior el Comité sugirió determinados parámetros de una distribución de la dosis que convendrían para hacer comparaciones y propuso una distribución de referencia exclusivamente con objeto de comparar entre sí las distribuciones de dosis. Con la distribución logarítmica onormal se pretendía reflejar el hecho de que, en muchas ocupaciones que entrañan la exposición a las radiaciones, la mayoría de los trabajadores reciben dosis bajas y solamente algunos están expuestos a dosis relativamente elevadas. Ese tipo de distribución de referencia no ha tenido suficiente aceptación, de manera que el Comité ha cambiado sus técnicas de análisis para poder hacer comparaciones directas de las distribuciones de dosis con una gama normal de valores. Los parámetros escogidos para comparar entre sí las dosis son la dosis colectiva anual; la dosis media, que depende del número de trabajadores incluidos y la proporción de la dosis colectiva recibida en dosis individuales anuales superiores a determinado nivel, por ejemplo 15 miligray. La aceptación cada vez mayor de este método de análisis confirma su utilidad y el Comité desearía hacer hincapié en la necesidad de informar acerca de las dosis de tal manera que se puedan mejorar dichos análisis.

Cuadro 6

Resumen de dosis equivalentes efectivas colectivas por unidad de energía generada recibas por los trabajadores dedicados a distintas partes del ciclo del combustible nuclear

<u>Actividades</u>	<u>Dosis equivalentes efectivas colectivas por unidad de energía producida (sievert- hombre por GW [el] año</u>
Extracción y tratamiento del mineral	1
Fabricación de elementos combustibles	1
Funcionamiento de reactores	10
Reelaboración del combustible	10
Investigación nuclear	5
TOTAL	~ 30

142. El trabajo del Comité abarcó varias clases distintas de irradiación profesional. En relación con el ciclo del combustible nuclear, se examinó sistemáticamente el caso de los trabajadores expuestos en las actividades de extracción y tratamiento del mineral, en la fabricación de elementos combustibles, en las diversas actividades relacionadas con el funcionamiento de los reactores, en la reelaboración del combustible y en la investigación y desarrollo tecnológico en materia de reactores. Cada vez se dispone de más información sobre estos temas, y las mayores dosis que reciben los grupos de personas numerosos corresponden a los dedicados a la extracción del uranio. También es posible calcular las dosis de radiación por unidad de práctica. Así, pues, se calcula que, la dosis equivalente colectiva anual total para los trabajadores en todas las actividades indicadas es de unos 30 sievert-hombre por GW-año; el desglose más detallado del Cuadro 6 permite ver que el funcionamiento de los reactores y la reelaboración del combustible aportan con ventajas las mayores proporciones de las dosis profesionales. En conjunto, los datos no muestran ninguna divergencia extraordinaria de las evaluaciones anteriores del Comité. Sin embargo, es difícil separar la investigación dirigida concretamente al ciclo del combustible nuclear y, por ende, no es posible una evaluación de este componente; todo parece indicar que las dosis por unidad de práctica que representa son menores que las comunicadas anteriormente. Si se acepta que la producción de energía por medios nucleares en 1979 fue de 70 GW-año, la dosis colectiva profesional en ese año fue de aproximadamente 2.000 sievert-hombre.

143. Se examinaron también las clases de irradiación profesional que entraña el empleo de las radiaciones con fines médicos e industriales, y la investigación y desarrollo tecnológico mediante el empleo de las radiaciones y de los radionucleidos. Aunque las dosis individuales recibidas por los trabajadores médicos puede ser significativa, la contribución general es relativamente pequeña. Esto se puede inferir de la dosis equivalente colectiva anual por millón de habitantes; éste varía en los distintos países, pero un valor razonable para países con un elevado nivel de atención médica es del orden de 1 sievert-hombre por millón de habitantes. Se han señalado algunas actuaciones en relación con el empleo de las radiaciones con fines industriales donde se necesita más información, especialmente respecto de los radiógrafos industriales. Otros grupos importantes expuestos son las tripulaciones de los aviones y los mineros dedicados a la extracción de minerales no uraníferos. La repercusión total de todos estos usos, junto con la de la investigación de la energía no nuclear, es de aproximadamente 1,5 sievert-hombre por millón de habitantes.

144. El Comité comparó y analizó la información que se le señaló respecto de la irradiación accidental de las personas profesionalmente expuestas. Los datos mostraron invariablemente que los radiógrafos industriales, en particular los que manejan fuentes móviles, eran la categoría más expuesta a sufrir accidentes. Entre las causas más comunes de estos accidentes parecen estar el descuido en el manejo de las fuentes y equipo, aunado a una elevada frecuencia de fallas del equipo, una capacitación deficiente y errores humanos. En los primeros días del desarrollo de la energía nuclear se informó de algunos accidentes de criticidad que produjeron varias víctimas fatales. El número total de incidentes y accidentes de que se tiene conocimiento parece muy pequeño si se tiene en cuenta el número de personas que emplean las radiaciones o la radioactividad en su trabajo, pero la distribución de los accidentes entre los diferentes tipos de trabajo es muy desigual.

145. El Comité ha hecho varias recomendaciones acerca de los aspectos en que es necesario un mayor análisis de los datos para extraer información pertinente. Sería una gran ventaja que las personas encargadas de reunir los datos se ocuparan

de analizarlos, en particular respecto de la modalidad de acumulación de las dosis durante los años de trabajo. Si se obra de conformidad con estas recomendaciones, al cabo de algunos años se tendrá un conocimiento mucho más claro de la situación general de la irradiación profesional en todas las ocupaciones.

6. Irradiación con fines médicos 12/

146. LAS IRRADIACIONES MEDICAS SE CARACTERIZAN POR TASAS DE DOSIS ELEVADAS Y DISTRIBUCIONES DE DOSIS MUY DESIGUALES. POR ESTA RAZON ES MUY UTIL EL EMPLEO DE CONCEPTOS TALES COMO EL DE LA DOSIS EQUIVALENTE EFECTIVA, PERO ESTE CONCEPTO TIENE LIMITACIONES SUSTANCIALES CUANDO SE APLICA A LOS PACIENTES. SIN EMBARGO, UNA APLICACION CAUTELOSA DE DOSIS EQUIVALENTE EFECTIVA INDICA QUE EL DETRIMENTO PRODUCIDO POR LOS DIVERSOS TIPOS DE EXAMENES MEDICOS PODRIA DIFERIR DEL QUE SE MENCIONA EN INFORMES ANTERIORES EN QUE SE HIZO HINCAPIE PRINCIPALMENTE EN LAS DOSIS GENETICAMENTE SIGNIFICATIVAS Y EN LAS DOSIS MEDIAS A LA MEDULA OSEA. LA INFORMACION PRELIMINAR RESPECTO DE LAS PRACTICAS RADIOLOGICAS EN ALGUNOS PAISES EN DESARROLLO SEÑALA LA CONCLUSION DE QUE DOS TERCIOS DE LA POBLACION MUNDIAL VIVE EN PAISES DONDE LA FRECUENCIA DE LOS EXAMENES RADIOLOGICOS PARECE SER DE UN ORDEN DE MAGNITUD MENOR QUE LA CORRESPONDIENTE A LAS SOCIEDADES DESARROLLADAS.

147. Una contribución importante a la dosis colectiva global ocurre durante los procedimientos radiológicos. La irradiación médica aporta la mayor contribución de origen humano a las dosis de radiación recibidas por la población y en algunos países industrializados esta contribución se acerca a las dosis recibidas de fuentes naturales. La diferencia principal entre esta fuente de irradiación y otras es que las personas irradiadas son habitualmente aquellas que tienen probabilidad de obtener un beneficio directo de los procedimientos que recurren a la irradiación.

148. Las irradiaciones se utilizan en la medicina con fines diagnósticos o para tratamiento de enfermedades, en particular el cáncer. Las dosis que reciben los pacientes son sumamente variables: desde muy bajas, como en el caso de los exámenes diagnósticos, hasta muy altas, como en el caso de la radioterapia. Aunque todas las dosis individuales contribuyen a la dosis colectiva recibida por la población en general, el grueso de esta dosis colectiva proviene de las pequeñas dosis que comprometen a muchas personas, y no de las dosis elevadas administradas a relativamente pocos pacientes de radioterapia.

149. El alcance del análisis del Comité de los niveles de irradiación durante los exámenes o tratamientos médicos es muy amplio. En primer lugar, el Comité opina que es necesario un conocimiento de las irradiaciones médicas individuales y colectivas para poder colocarlas en una perspectiva adecuada respecto de las demás fuentes de radiación a que está expuesto el ser humano. En segundo lugar, es necesario analizar las dosis recibidas por cada órgano, así como su gama de variación, respecto de los diversos tipos de exámenes radiológicos, a fin de conocer y comparar el riesgo de determinadas prácticas. Finalmente, sería posible, mediante un examen semejante, identificar a grupos de pacientes expuestos a dosis elevadas a quienes se podría vigilar más adelante mediante estudios epidemiológicos para evaluar más exactamente la incidencia de secuelas radiológicas perniciosas.

12/ Este tema se trata con mayor amplitud en el Anexo G, titulado "Irradiación con fines médicos".

150. Habida cuenta de la magnitud del componente de la exposición médica y de la gran potencialidad de reducirlo significativamente, el Comité ha examinado repetidamente la información pertinente a fin de vigilar estrechamente la tendencia. Los informes anteriores se concentraron en particular en las dosis recibidas por las gónadas, para establecer evaluaciones del posible riesgo genético de las exposiciones debido a la dosis conocida como genéticamente significativa. Ultimamente, se prestó también cada vez mayor atención a las dosis recibidas por otros órganos, para identificar los procedimientos médicos que redundan en dosis particularmente elevadas a los órganos. El Comité siguió esta misma tendencia en el presente informe.

151. El Comité examinó la información disponible sobre la frecuencia total de los exámenes de diagnóstico con rayos X, indicando que puede variar entre 300 y 900 exámenes por cada 1.000 habitantes por año en los países industrializados, sin incluir los reconocimientos colectivos y los exámenes dentales. Los exámenes del esqueleto y del tórax se distinguieron como los más frecuentes en muchos países. Se desplegó un esfuerzo especial para examinar la situación de la radiología diagnóstica en los países en desarrollo, con la colaboración de la Organización Mundial de la Salud, comparando información sobre la población con acceso a los servicios radiológicos. Se encontró que en estos países el equipo es escaso y está mal distribuido; la población rural tiene un acceso limitado a las instalaciones existentes. En los países industrializados se comprobó una pronunciada tendencia a la reducción de las irradiaciones individuales para algunos tipos de exámenes tales como la radiografía dental y la mamografía.

152. Las dosis absorbidas por diversos órganos y tejidos de interés para el Comité variaron entre menos de 0,01 a 50 miligray por examen, teniendo en cuenta todos los tipos de exámenes de radiodiagnóstico. Se prestó atención especial a determinados exámenes con rayos X, por diversas razones: por ser muy comunes y, por lo tanto, contribuir quizá considerablemente a la dosis colectiva (por ejemplo, los exámenes dentales) o por entrañar la irradiación de tejidos de reconocida gran susceptibilidad al cáncer por radioinducción (por ejemplo, la mamografía). En ambos casos se comprobó una tendencia a reducir las dosis recibidas en cada examen, gracias a las mejores condiciones técnicas de irradiación.

153. En dos países desarrollados se han comunicado dosis equivalentes efectiva colectiva para la radiología diagnóstica de aproximadamente 600 y 1.800 sievert-hombre por millón de habitantes. A falta de otros datos, el Comité ha utilizado tentativamente, para los fines de este informe, el valor redondeado de 1.000 sievert-hombre por millón de habitantes como la dosis equivalente efectiva colectiva anual para los países desarrollados, que corresponde a un 50% de la exposición a las fuentes de radiación naturales. El valor correspondiente para los países en desarrollo podría ser de un orden de magnitud menor, de manera que la cifra ponderada para todo el mundo se acercaría a los 400 sievert-hombre, o sea un 20% de la exposición media a las fuentes naturales.

154. En general, los exámenes de la medicina nuclear contribuyen relativamente poco a la irradiación de la población por fuentes médicas, en comparación con los procedimientos de diagnóstico con rayos X. Sin embargo, se esperaría una gran variación del valor de la dosis equivalente efectiva colectiva debido a las diferencias de la práctica radiológica en diversos países y a la gama variable de enfermedades de las distintas poblaciones. Para las irradiaciones con fines radioterapéuticos, el Comité analizó los datos reunidos con el OIEA y la OMS sobre la disponibilidad y el uso de equipo de radioterapia en muchos países. Esos datos revelan, simultáneamente, una tendencia general a aumentar los servicios y a una distribución muy desigual entre los países desarrollados y los países en desarrollo.

155. En relación con la dosis equivalente genéticamente significativa, el Comité cree que un cálculo aproximado que puede aplicarse a los países desarrollados para los que se dispone de alguna información es de aproximadamente 0,1 a 0,2 milisievert por año, incluidos todos los componentes de la dosis recibida durante las prácticas médicas. Las cifras correspondientes para los países en desarrollo serían de un orden de magnitud menor.

156. El Comité quisiera expresar el deseo de que, en adelante, las estadísticas correspondientes a la irradiación médica se presenten de manera tal que pueda hacerse una evaluación más precisa de las cantidades anteriores.

7. Recapitulación y conclusiones

157. En este informe, el Comité utilizó diversas cantidades para evaluar las exposiciones de las fuentes de radiación examinadas por él. Se han utilizado las tasas de la dosis equivalente efectiva individual para demostrar la variabilidad de las irradiaciones individuales según el lugar, la ocupación, el tiempo y otros factores. Sumando todas las tasas de dosis equivalente efectiva individual, se obtuvieron también las tasas de dosis equivalente efectiva, que expresan el efecto de la radiación de una fuente o práctica dadas correspondiente a un tiempo determinado.

158. Es interesante estudiar como varían en función del tiempo las tasas de la dosis equivalente efectiva colectiva en el transcurso de los últimos decenios. En la Figura II (a) se presentan las contribuciones de las irradiaciones debidas a usos con fines médicos, a las explosiones nucleares en la atmósfera y a la producción de energía nuclear, expresadas como un porcentaje de la exposición media a las fuentes naturales. Los valores correspondientes a la irradiación con fines médicos y a la producción de energía nuclear incluyen las irradiaciones de los trabajadores así como las del público. Se estima que la contribución de la irradiación médica no ha cambiado apreciablemente en el curso de los años, mientras que la contribución de las explosiones nucleares ha seguido una tendencia discontinua pero en general ha disminuido a partir de 1963, con pequeñas variaciones debidas a explosiones más recientes. La dosis equivalente efectiva colectiva anual atribuible a la producción de energía eléctrica por medios nucleares ha venido aumentando continuamente, debido a la ampliación de los programas de energía nuclear, aunque su contribución se mide en un orden de magnitud muy inferior.

159. No obstante las múltiples incertidumbres, es probable que los órdenes de magnitud de la mayoría de los valores que aparecen en la Figura II (a) sean correctos y, por lo tanto, se prestan a varias consideraciones generales. Entre las diversas fuentes de radiación, las fuentes naturales son con mucho las más importantes, con una dosis equivalente efectiva anual media de 2,0 milisieverts.

160. Con respecto a las fuentes de origen humano, las mayores contribuciones provienen de los usos de la radiación, con fines médicos, en particular con fines de diagnóstico. Se estima que la dosis equivalente efectiva anual media debido a los usos de la radiación con fines médicos en todo el mundo es de aproximadamente 0,4 milisieverts, que corresponde a aproximadamente un 20% de la irradiación anual media de fondo. A juicio del Comité, las probabilidades de reducir la dosis con buenas y compatibles con el objetivo de las prácticas. Habida cuenta de que esta dosis es relativamente elevada, es de esperar de ella un beneficio importante.

PORCENTAJE DE DOSIS EQUIVALENTES EFECTIVAS ANUALES MEDIAS DE FUENTES DE RADIACION NATURALES

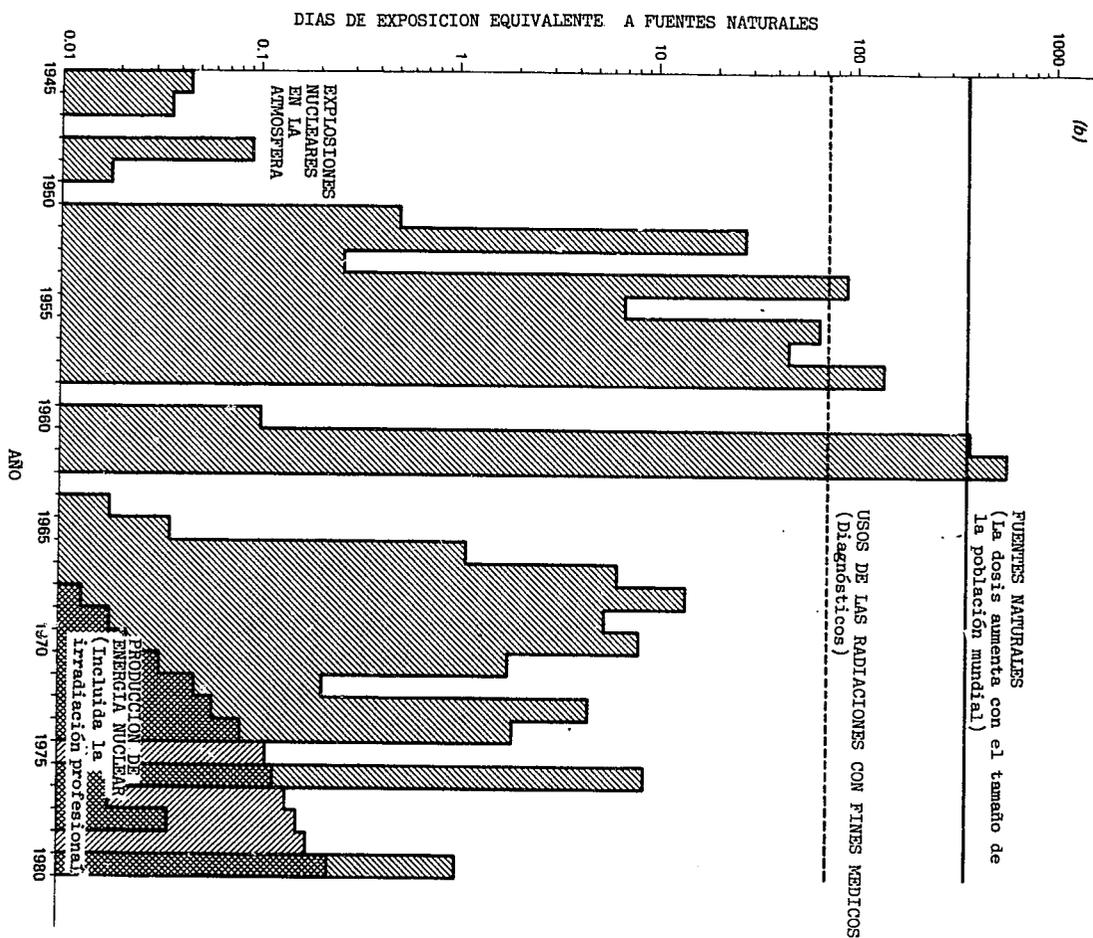
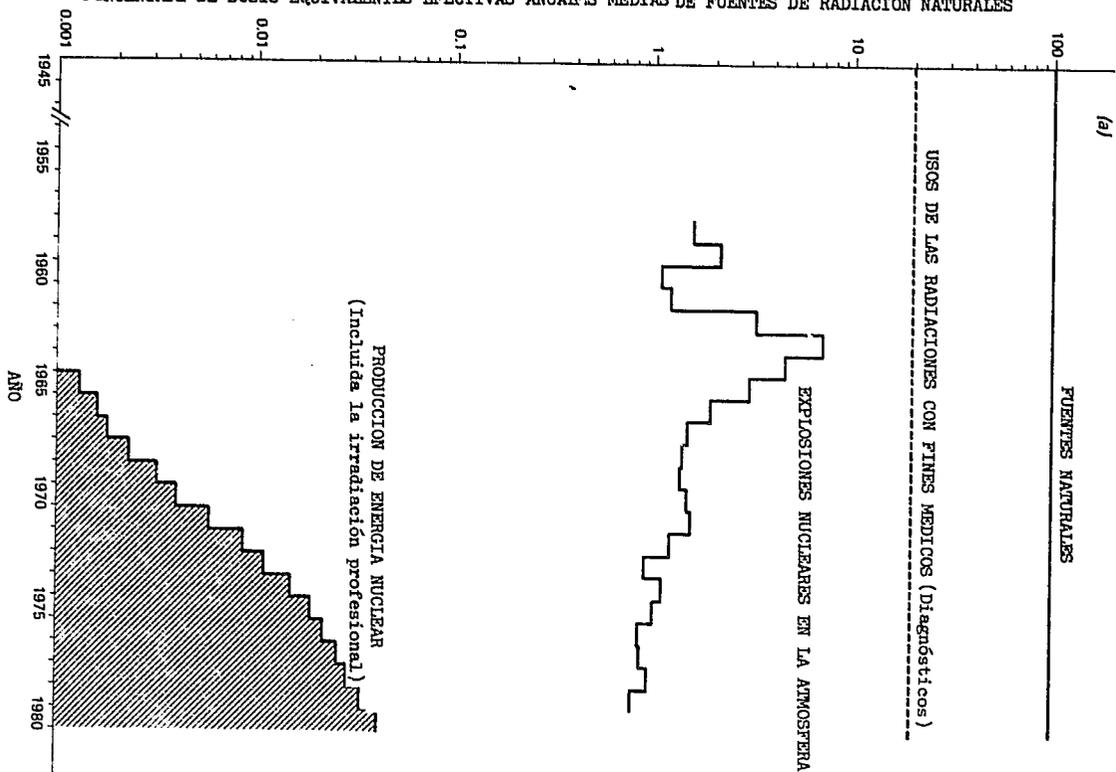


Figura II. Tendencias de las dosis de diversas fuentes de radiación en función del tiempo.
 a) Dosis equivalentes efectivas anuales expresadas como porcentaje de la exposición media a fuentes naturales; b) compromiso de dosis equivalente efectiva colectiva por año de práctica, expresado en días de exposición equivalente a fuentes naturales.

161. Si se suman las tasas de las dosis equivalentes efectivas colectivas en el transcurso del tiempo, se llega a compromisos de dosis equivalentes efectivas colectivas que se suponen proporcionales al efecto total sobre la salud de una fuente o práctica dadas. Las fuentes o prácticas podrían ser, por ejemplo, las explosiones nucleares en la atmósfera realizadas hasta el presente; o un año de producción de energía por fisión nuclear en la actualidad; o la extracción de una tonelada de mineral de fosfato. Los compromisos de dosis equivalentes efectivas colectivas mundiales son las cantidades que más convienen para comparar el detrimento esperado por exposición a las distintas fuentes de radiación.

162. En el informe de 1977 el Comité aprobó un cuadro para resumir sus cálculos de las dosis mundiales en que se expresaban los compromisos de dosis a todo el organismo de fuentes distintas en función del tiempo de exposición de la población mundial a las radiaciones naturales que darían lugar al mismo compromiso de dosis. Esta forma de presentación fue aceptada ampliamente porque permite comparar las diversas fuentes en una escala de tiempo fácilmente apreciable. Por lo tanto, el Comité ha actualizado algunos de los cálculos pertinentes, comparando los compromisos de dosis equivalentes efectivas colectivas mundiales, expresados en días de exposición a fuentes naturales. En la Figura II b) se presenta, en una escala semilogarítmica, los cálculos de dichos compromisos de dosis equivalentes colectivas debidos al uso de las radiaciones con fines de diagnóstico médico, a los ensayos de armas nucleares y a la producción de energía nuclear cada año de 1945 a 1980. Estos compromisos de dosis colectivas se expresan como el número de días de exposición a la radiación natural ambiente que producirían la misma dosis. El Comité supone que las dosis de la irradiación natural y médica permanecen constantes.

163. Los compromisos de dosis equivalentes efectivas colectivas por año de ensayos atmosféricos llegaron en 1962 a un máximo, correspondiente a aproximadamente 1,6 años de radiación natural ambiente; a partir de ese año los compromisos anuales han sido sustancialmente menores. Los compromisos de dosis equivalentes efectivas colectivas por año de producción de energía nuclear han venido aumentando constantemente hasta ahora.

164. Debe hacerse hincapié en dos consideraciones para evitar posibles errores de concepto acerca del contenido de la Figura II b). En primer lugar, la presentación de las irradiaciones de las diversas fuentes en el mismo gráfico se debe interpretar sencillamente como una manera de representar la contribución relativa al compromiso de dosis equivalente efectiva mundial. No entraña ningún juicio del Comité en cuanto a la justificación de las diversas fuentes o prácticas por motivos éticos, sociales o económicos. En segundo lugar, dicha presentación sería equívoca si no se tomaran en cuenta las múltiples reservas formuladas en los párrafos precedentes de este informe y en todos sus anexos científicos.

165. El compromiso de dosis equivalente efectiva colectiva resultante de todas las explosiones nucleares que han ocurrido hasta fines de 1980 corresponde a aproximadamente cuatro años de exposición a las radiaciones naturales (Figura II b)). Ya se ha irradiado aproximadamente un 10% del compromiso de dosis equivalente efectiva colectiva; la parte restante, debida sobre todo al carbono-14, se irradiará en el curso de los próximos 10.000 años.

166. El valor medio a nivel mundial del compromiso de dosis equivalente efectiva colectiva (truncado a los 500 años) debido a un año de producción de energía nuclear a nivel de capacidad instalada de 1980 de 140 GW (e) corresponde a aproximadamente cinco horas de exposición a las radiaciones naturales [Figura II b)].

Este cálculo incluye la irradiación de los trabajadores así como la del público. Aunque a primera aproximación se puede considerar que la distribución del componente de largo plazo de la dosis mundial que absorbe el público es uniforme durante el período de recepción de la dosis, el componente de corto plazo se distribuye desigualmente alrededor de las instalaciones nucleares. El Comité ha analizado la medida de esa desigualdad, señalando indirectamente las condiciones necesarias para seguir mejorando la situación actual mediante medidas nacionales o internacionales. Suponiendo que el compromiso de dosis colectiva por unidad de práctica no sufra cambio alguno, un año de producción de energía, a la capacidad nuclear instalada proyectada de 1.000 a 1.600 GW e) para el año 2.000, representaría un compromiso de dosis equivalente mundial (truncado a 500 años) de aproximadamente dos días de exposición a la radiación natural ambiente, incluido el componente profesional. Sin embargo, esta suposición podría no ser realista debido a los avances tecnológicos y a la evolución de las medidas normativas.

167. El compromiso de dosis equivalente efectiva colectiva total debido a la producción de energía eléctrica por fisión nuclear hasta el presente corresponde, de acuerdo con cálculos aproximados, a un día de exposición media a la radiación natural ambiente [figura II b)]. Este valor se trunca a los 500 años e incluye la irradiación de los trabajadores así como la del público en general.

168. Las otras fuentes de radiación dan lugar a compromisos de dosis equivalente efectiva colectiva mucho menores y no merecen ningún comentario especial.

169. La situación descrita exige exámenes ulteriores a intervalos oportunos para vigilar constantemente las tendencias, determinar las posibles desviaciones de los valores pronosticados y refinar aún más los cálculos. Por el momento, se cree que conviene más profundizar los estudios de temas seleccionados que hacer evaluaciones
ias.

C. EFECTOS DE LAS RADIACIONES

1. Efectos genéticos de las radiaciones 13/

170. NUEVOS EXPERIMENTOS SOBRE LOS EFECTOS GENETICOS DE LAS RADIACIONES HAN BRINDADO MAYOR INFORMACION CIENTIFICA PARA LA EVALUACION DEL RIESGO DE ENFERMEDADES HEREDITARIAS RADIOINDUCIDAS EN EL HOMBRE. TAMBIEN HAN SERVIDO PARA AUMENTAR LA CONFIANZA DEL COMITE EN QUE LAS HIPOTESIS GENERALES Y LOS PROCEDIMIENTOS DE CALCULO UTILIZADOS ANTERIORMENTE CON ESTE OBJETO CONSERVAN SU VALIDEZ A LA LUZ DE LOS ACTUALES CONOCIMIENTOS. NO HAN DADO LUGAR A NINGUNA VARIACION FUNDAMENTAL EN LOS CALCULO ANTERIORES DEL RIESGO GENETICO.

171. Es un hecho bien establecido que una proporción importante de todas las concepciones es genéticamente anormal, esto es, lleva consigo un defecto hereditario de origen espontáneo. Los cambios más extremos en la composición genética no permiten organismos viables y dan lugar a un consiguiente aborto. Se ha calculado que cerca de la mitad de todos los abortos espontáneos diagnosticados clínicamente tienen una constitución genética anormal. No obstante, ciertos cambios genéticos permiten un organismo viable, pero los individuos portadores de éstos registran anomalías (que varían desde enfermedades e impedimentos

13/ Este tema se examina en detalle, en el anexo I, titulado "Efectos genéticos de las radiaciones".

sobremanneramente incapacitantes hasta condiciones más bien benignas) en alguna etapa de su vida después del nacimiento. Estudios de poblaciones han demostrado que alrededor de un 10% de todos los niños nacidos vivos son portadores de algún tipo de defecto genético o parcialmente genético de diversos grados de gravedad.

172. También es bien sabido que muchos agentes tóxicos y, en particular, las radiaciones ionizantes, son capaces de aumentar la incidencia de caracteres nocivos hereditarios. Cuando las radiaciones actúan sobre el material genético de las células germinativas en el testículo o en el ovario, este material puede sufrir lesiones. Si, posteriormente, se transmiten estas lesiones a los descendientes de la persona irradiada, pueden dar lugar a diversos trastornos clínicos que, tal como en el caso de los de origen espontáneo, pueden causar considerables problemas a las personas afectadas, su familia o la sociedad en general. Por consiguiente, es de suma importancia evaluar en qué grado pueden aumentar los defectos genéticos de origen espontáneo debido a la irradiación.

173. Los efectos de las radiaciones en el material genético pueden agruparse arbitrariamente, según su carácter, en dos clases diferentes: las mutaciones puntuales y las aberraciones cromosómicas. Las mutaciones puntuales son alteraciones hereditarias de las unidades elementales de la herencia, denominadas genes. Estas se clasifican además operacionalmente en mutaciones dominantes, cuando sus efectos se manifiestan en los descendientes inmediatos de los individuos en cuyas células germinativas se presentaron o se indujeron, y mutaciones recesivas, que pueden no manifestarse en la progenie inmediata y sólo se manifiestan cuando un individuo recibe el mismo gene mutado de ambos progenitores. En el ser humano, al igual que en todas las especies exogámicas, la probabilidad de que ocurra dicho efecto es reducida, salvo cuando los padres están emparentados entre sí. De este modo, las mutaciones recesivas se transmitirán inadvertidas de generación en generación y persistirán en la población hasta que por casualidad, dos individuos que sean portadores del mismo gen mutado engendren descendientes y se hagan manifiestas las mutaciones recesivas que se presentaron (o fueron inducidas) anteriormente. La mayoría de las mutaciones puntuales no se ajustan con precisión a ninguna de las dos categorías mencionadas; en efecto, cuando ha sido posible estudiar los efectos en detalle, se han encontrado mutaciones de todas las categorías, que variaban desde mutaciones totalmente dominantes hasta totalmente recesivas.

174. Las aberraciones cromosómicas pueden dividirse en las que entrañan cambios en el número normal de cromosomas (aberraciones numéricas) y las que suponen cambios en la estructura de los propios cromosomas (aberraciones estructurales). Las aberraciones numéricas que entrañan pérdida o ganancia de cromosomas completos tienen graves consecuencias clínicas, tales como el síndrome de Turner, que se manifiesta en mujeres, con un solo cromosoma X en lugar de los dos normales, o el síndrome de Down, en que el individuo tiene un cromosoma 21 suplementario. Cuando los cromosomas se fragmentan y se sueldan en nuevas configuraciones que pueden dar lugar a pérdida o ganancia de partes de cromosomas (supresiones o duplicaciones) los individuos a quienes se transmiten estos cromosomas también pueden ser anormales.

175. El Comité examinó todos los datos que se han obtenido desde la publicación de su informe de 1977 y clasificó los nuevos datos en cuatro grupos, a saber:

a) Los que confirman las conclusiones anteriores y agregan nueva documentación al respecto;

b) Los que amplían la base de datos sobre la que se formularon ciertas hipótesis para las evaluaciones de riesgos en el pasado;

c) Los que pueden ser pertinentes para ciertas deducciones cualitativas, pero no para las evaluaciones cuantitativas;

d) Los que pueden considerarse como de posible utilidad para perfeccionar nuestras evaluaciones del peligro genético que suscita la exposición a las radiaciones ionizantes.

176. Los datos confirmatorios han provenído de estudios en animales de laboratorio. Estos datos han ampliado nuestros conocimientos anteriores a una gama más extensa de dosis de radiación y condiciones de irradiación (irradiación interna y externa, diversas tasas de dosis), a varias especies de mamíferos, un gran número de etapas de las células germinativas y puntos terminales genéticos. En general, estos nuevos resultados han robustecido nuestra comprensión de la forma de las relaciones dosis-reacción en las células germinativas de animales machos y hembras, en que deben basarse los cálculos de la cuantía de los defectos genéticos radioinducidos. También permiten depositar mayor confianza en las deducciones necesarias para la evaluación de los efectos genéticos en los seres humanos a partir de datos obtenidos en animales.

177. En el ser humano, los nuevos datos han prestado una base más firme a nuestros cálculos de la incidencia espontánea de diversos defectos genéticos; no obstante, continúa siendo limitada la información sobre los cambios radioinducidos en la progenie de progenitores, irradiados. Los progresos técnicos pueden permitir cálculos directos de ciertos tipos de lesiones en el material genético de personas irradiadas. Se han seguido haciendo intensas investigaciones en la esfera de la probable base genética de ciertos defectos somáticos; los resultados demuestran que diversas enfermedades genéticas en los seres humanos se asocian a una mayor radiosensibilidad y a una propensión de familia a las neoplasias.

178. Se han obtenido nuevos datos relativos a ciertas hipótesis utilizadas en las evaluaciones del riesgo; así, por ejemplo, nuevos resultados en bacterias y en la mosca del vinagre son compatibles con uno de los supuestos básicos que entraña el método indirecto de evaluación del riesgo, a saber, que hay proporcionalidad entre las tasas de mutaciones espontáneas y las de mutaciones inducidas de determinados genes. Los nuevos datos también han confirmado que, en lo que atañe a condiciones de irradiación aplicables a los seres humanos, las células germinativas femeninas son menos sensibles desde el punto de vista de las mutaciones que las células germinativas masculinas.

179. También se ha informado de novedades que pueden ser pertinentes a los cálculos del riesgo genético en el ser humano, al menos en un sentido cualitativo. Estos se refieren a observaciones de una mayor frecuencia de aberraciones cromosómicas en las células somáticas de:

a) Grupos de población que viven en condiciones de alta irradiación ambiente natural;

b) Grupos expuestos por razón de su ocupación;

c) Los sobrevivientes de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki.

Otros datos se refieren a la posible importancia clínica de anomalías cromosómicas espontáneas (por ejemplo, translocaciones equilibradas), tema al que anteriormente se ha prestado poca atención. Finalmente, estudios citogenéticos detallados de la evolución cromosómica en los primates apuntan a la posible utilidad de semejanzas evolutivas en lo que atañe a obtener deducciones sobre el carácter y los efectos de ciertos cambios cromosómicos inducibles las radiaciones u otros agentes tóxicos en el medio ambiente. El problema de la contribución de las mutaciones recesivas, tanto espontáneas como inducidas, a la carga genética humana ha sido, y sigue siendo, un problema al que es difícil dar respuestas cuantitativas fidedignas en la actualidad.

180. Aunque los cálculos del riesgo genético se expresan como la proporción de cierto número de casos de defectos genéticos graves por dosis unitaria de radiación al total de la población, esta forma de expresar el riesgo no refleja en debida forma el grado de detrimento o la repercusión de estas enfermedades en el individuo afectado, su familia, los servicios de atención de la salud y la sociedad en general. En el presente informe se realiza un intento preliminar de derivar un índice de detrimento para las enfermedades genéticas de origen espontáneo y radioinducidas. Con este objeto, el Comité utilizó ciertos criterios mensurables, tales como el lapso de vida perdido o menoscabado. Si bien reconoce que los criterios mencionados aún son insuficientes, el Comité considera este intento como una posible forma de definir el riesgo en términos de significación social.

181. El objetivo principal del examen del Comité ha sido la evaluación de posibles riesgos genéticos debidos a la irradiación de seres humanos. No obstante, los datos directos en seres humanos, en especial con dosis y tasas de dosis bajas, aún son muy limitados y las evaluaciones necesariamente deben seguir basándose en datos obtenidos en el ratón y, en cierta medida, en los primates no humanos. Al utilizar dichos datos experimentales para calcular los efectos previstos en el ser humano es necesario recurrir a una serie de hipótesis. Las más importantes son las siguientes:

a) A menos que haya pruebas en contrario, la cuantía del detrimento genético inducido por un tipo de radiación dado a igualdad de las demás condiciones, es la misma en las células terminativas de las especies de ensayo que en las de los seres humanos;

b) Los factores físicos y biológicos afectan la magnitud del detrimento en formas y cuantías análogas en los seres humanos y en las especies de ensayo.

El Comité destaca una vez más la incertidumbre y las limitaciones del procedimiento de extrapolación y de las hipótesis en que se basa.

182. Como en ocasiones anteriores, se utilizaron dos métodos para obtener los cálculos de riesgo genético. Según el método directo, se estima la cuantía de un tipo (o tipos) concreto de lesión genética para la especie de ensayo. A continuación, este valor estimado, al que se aplican los factores de corrección pertinentes, se expresa en función de los efectos previstos en la progenie de seres humanos irradiados. En el método indirecto, o de dosis de duplicación, se efectúa en primer lugar una evaluación de la cantidad de radiación que produciría el mismo número de mutaciones que las que ocurren espontáneamente en la especie de ensayo. Un promedio de los valores estimados para las diferentes categorías de detrimento es la "dosis de duplicación" para la especie en cuestión. Sobre la hipótesis de que la dosis de duplicación calculada de esta forma es aplicable al hombre, y

teniendo en cuenta la incidencia actual de enfermedades genéticas en los seres humanos, se calcula finalmente el aumento previsto de enfermedades por dosis unitaria de radiación.

183. Utilizando el método directo, el Comité calculó en 1977 que el riesgo de inducción de daño genético en la primera generación luego de la irradiación de machos (dosis bajas, tasa de dosis baja, radiación de baja TLE) sería del orden de 2.000 afecciones genéticas graves por Gy por millón de miembros de la progenie. Estos cálculos se habían basado en estudios de la producción de mutaciones esqueléticas dominantes en ratones machos. No se han obtenido nuevos datos sobre mutaciones esqueléticas que justifiquen modificar dicho cálculo. El Comité desde entonces ha hecho otros cálculos independientes basados en la inducción de mutaciones dominantes que causan catarata ocular luego de la irradiación de ratones machos. El nuevo cálculo de 1.000 casos por millón por Gy de exposición paterna concuerda razonablemente con el de 2.000 por millón por Gy basado en mutaciones esqueléticas.

184. La concordancia entre las cifras respalda la opinión de que los valores estimados probablemente son del orden de magnitud correcto. No obstante, cabe hacer hincapié en que dichos cálculos, por mucho que concuerden entre sí, se basan en varias hipótesis y podrían estar sujetos a revisiones a la luz de nuevos progresos en el conocimiento científico. Los cálculos de riesgos en la descendencia de hembras, irradiadas no pueden obtenerse con el mismo criterio, debido a la falta de datos experimentales pertinentes. No obstante, las deducciones de otros datos apuntan a una sensibilidad más baja, y probablemente mucho más baja, de las células germinativas femeninas en comparación con las masculinas, en condiciones de irradiación de baja dosis, baja tasa de dosis y baja TLE.

185. El Comité también ha podido reevaluar el riesgo de inducción de translocaciones recíprocas, basándose en nuevos datos obtenidos de estudios en el mono Rhesus, así como en datos anteriores relativos al tití y al hombre. Actualmente se calcula que este riesgo varía entre aproximadamente 30 y 1.000 casos de hijos congénitamente deformes por millón de concepciones por Gy de irradiación paterna (irradiación de baja dosis, baja tasa de dosis, baja TLE). Estos casos se derivan presuntamente de los productos desequilibrados de translocaciones recíprocas equilibradas radioinducidas. No obstante, al carecerse de suficientes datos sobre el efecto de dichas translocaciones sobre los propios portadores, no puede evaluarse de manera fidedigna la contribución de las translocaciones recíprocas equilibradas como tales a la patología humana. En cuanto al riesgo de inducción de translocaciones recíprocas en las hembras, no se han obtenido nuevos datos. En todo caso, las deducciones obtenidas a partir de los datos respaldan la opinión del Comité, expresada en el informe de 1977, de que el riesgo tendería a ser bajo. La misma conclusión sería válida para las aberraciones estructurales de los cromosomas, salvo las mencionadas expresamente en lo que antecede.

186. Utilizando el método indirecto, o método de dosis de duplicación, el Comité calculó en 1977 que, si la población está continuamente expuesta a bajas dosis de radiación de baja TLE a una tasa de 0,01 Gy por generación (una generación = 30 años), cabría esperar 63 nuevos casos de enfermedades genéticas por 1 millón de miembros de la progenie de la primera generación (20 de inducción de enfermedades dominantes y vinculadas con el cromosoma X, 38 de enfermedades cromosómicas y 5 de etiología compleja). En el estado de equilibrio (que se lograría después de un número variable de generaciones, según la categoría de la enfermedad genética), este número aumentaría a 185 casos por 1 millón de miembros de la progenie (100 debidos a la inducción de enfermedades dominantes y vinculadas con el cromosoma X, 40 de enfermedades cromosómicas y 45 de enfermedades de etiología compleja).

187. Análisis recientes han permitido refinar estos cálculos hasta cierto punto. En primer lugar, se ha demostrado que, para las enfermedades dominantes y vinculadas con el cromosoma X, el incremento en la primera generación tendería a ser alrededor de un 15% del correspondiente al estado de equilibrio (esto es, para exposiciones a radiación de baja TLE y baja dosis, a una tasa de 0,01 Gy por generación, 15 casos por 1 millón de nacimientos, siendo la frecuencia en el estado de equilibrio la misma que antes, esto es, 100 casos por 1 millón de nacimientos, o con una exposición a una tasa de 1 Gy por generación, 1.500 casos por 1 millón de nacimientos en la primera generación y 10.000 casos por 1 millón de nacimientos en el estado de equilibrio). En segundo lugar, la mayoría de las enfermedades incluidas en la categoría de anomalías cromosómicas son de carácter numérico. En 1977 el incremento (debido a la radiación en las condiciones señaladas) para esta clase de enfermedades se calculó sobre la hipótesis de una dosis de duplicación de 1 Gy, al igual que para otras categorías de detrimento genético. No obstante, los datos en animales de laboratorio y en el ser humano apuntan a la posibilidad de que una dosis de duplicación de 1 Gy quizás sea inadecuada para las enfermedades cromosómicas de carácter numérico. Por consiguiente, el Comité sólo ha utilizado la dosis de duplicación mencionada para las enfermedades cromosómicas derivadas de aberraciones estructurales de los cromosomas y ha obtenido cálculos de 240 y 400 casos por 1 millón de miembros de la progeñe en la primera generación y en el estado de equilibrio, respectivamente, cuando la población está expuesta a 1 Gy por generación en las condiciones señaladas. No ha habido variación en los cálculos relativos a las enfermedades de etiología compleja (esto es, las cifras de 450 y de 4.500 por 1 millón de miembros de la progeñe de la primera generación y para el estado de equilibrio, respectivamente, mantienen su validez para una exposición a la radiación de 1 Gy por generación en las condiciones señaladas).

188. En resumen, mediante el método de dosis de duplicación, el Comité ha llegado, a calcular que, cuando una población, se ve expuesta a radiación de baja TLE a bajas dosis a una tasa de 1 Gy por generación, el aumento previsto de casos de enfermedades genéticas ascenderá a aproximadamente 2.200 casos por 1 millón de miembros de la progeñe en la primera generación (esto es, $1.500 + 240 + 450 \approx 2.200$) y a aproximadamente 15.000 casos por 1 millón de miembros de la progeñe en el estado de equilibrio (esto es, $10.000 + 400 + 4.500 \approx 15.000$).

2. Efectos no estocásticos de la irradiación en tejidos normales 14/

189. CUANDO LAS RADIACIONES MATAN UN NUMERO DE CELULAS SUFICIENTEMENTE GRANDE, PROVOCAN LESIONES ANATOMICAS Y FUNCIONALES EN LOS TEJIDOS. LAS DOSIS INFERIORES A UN UMBRAL DETERMINADO, QUE VARIA SEGUN LOS DIVERSOS EFECTOS Y TEJIDOS, PUEDEN PRODUCIR ALTERACIONES DETECTABLES, PERO POR LO GENERAL SON NECESARIAS DOSIS RELATIVAMENTE MAS ALTAS PARA INDUCIR EFECTOS PATOLOGICOS. EN EL CASO DE LAS DOSIS UNICAS QUE AFECTAN A TODO EL CUERPO Y SUPERAN EL CITADO UMBRAL, LA MEDULA OSEA CONSTITUYE EL TEJIDO DE IMPORTANCIA CRITICA PARA LA SUPERVIVENCIA. NO OBSTANTE, LA GRAN CAPACIDAD DEL TEJIDO MEDULAR PARA REPRODUCIRSE LE PERMITE SOPORTAR DOSIS MUCHO MAYORES SI ESTAS SE ADMINISTRAN DURANTE UN PERIODO LARGO. EN LOS CASOS DE RADIACIONES PROLONGADAS O FRACCIONADAS, LA PERDIDA DE FUNCION DE OTROS TEJIDOS (POR EJEMPLO EL TEJIDO TESTICULAR O EL CRISTALINO DEL OJO) PUEDE APARECER CON DOSIS MAS BAJAS. EN EL ESTUDIO REALIZADO POR EL COMITE SE EXAMINA, EN RELACION CON TODOS LOS TEJIDOS IMPORTANTES, LA RELACION DOSIS-TIEMPO A QUE LOS DIVERSOS EFECTOS ALCANZAN UN PUNTO CRITICO. EN EL CITADO ESTUDIO SE EXAMINA ASIMISMO LA IMPORTANCIA RELATIVA DE ESTAS VARIABLES FISICAS O BIOLOGICAS.

14/ Este tema se examina ampliamente en el Anexo J, titulado "Efectos no estocásticos de la irradiación".

190. Desde 1962, el Comité no ha realizado ningún análisis sistemático de los cambios morfológicos y funcionales que se producen en los tejidos normales irradiados. Los objetivos del examen actual fueron en primer lugar determinar en el caso de cada tejido y respecto de diversos tipos de irradiación, los efectos y las dosis que podían alcanzar un punto crítico para el funcionamiento del tejido en cuestión; y, en segundo lugar, analizar los factores físicos y biológicos principales que modifican estas dosis y estos efectos. Para alcanzar estos objetivos hubo que realizar un estudio complejo de la relación dosis-tiempo en el caso de cada uno de los tejidos, estudio que se basó tanto en datos procedentes de animales como en los efectos clínicos observados en el ser humano.

191. El estudio se limitó a los efectos no estocásticos. Estos efectos se manifiestan cuando una gran proporción de las células de un tejido quedan inactivadas por las radiaciones, lo que provoca daños anatómicos o funcionales a dichos tejidos. En general, los efectos no estocásticos exigen la administración de una dosis mínima, llamada dosis umbral antes de que sea posible detectarlo. La gravedad clínica de la lesión aumenta con el aumento de la dosis. El tiempo de aparición del daño causado al tejido varía mucho, yendo desde unas pocas horas o días hasta muchos años después del momento de irradiación, según el tipo de efecto y las características del tejido concreto.

192. El concepto de dosis umbral es difícil de definir y debe debatirse en relación con cada tejido y cada efecto, dado que depende en gran parte de la sensibilidad de detección. Es necesario asimismo diferenciar entre el umbral de detección de cualquier efecto, por pequeño o trivial que sea, y el umbral de aparición de cambios clínicos con connotaciones patológicas claras. Aunque reconoció que estos conceptos tienen implicaciones prácticas importantes, el Comité estimó que un debate pormenorizado de la patología de los tejidos superaba los límites del presente estudio, cuyo propósito principal era evaluar los efectos de que se informaba, y no la importancia de éstos para fines prácticos.

193. La información de que se dispone sobre estos temas es muy amplia, y por lo tanto era necesario un tratamiento interpretativo y no un tratamiento globalizador. Esta labor se vio facilitada por el importante avance realizado en el conocimiento de los mecanismos básicos de la reacción de la célula y del tejido a la irradiación. La premisa en que descansa el examen realizado por el Comité es que la reacción no estocástica de un tejido concreto a las radiaciones depende principalmente del nivel de exterminio de las células que lo componen, y que el grado y el ritmo de la lesión guardan relación con la manera especial en que cada tejido concreto se organiza y funciona. Por lo tanto, en primer lugar fue necesario debatir con algún detenimiento con los radiobiólogos básicos, bosquejar los efectos de las radiaciones en células y tejidos, examinar el fenómeno de la regeneración, la estructura funcional de los tejidos y los cambios inducidos en éstos por la radiación. Todo esto se planteó como un marco de referencia unificador para el análisis especializado y sistemático de los efectos en diversos tejidos.

194. Aunque el Comité ha estudiado los datos relativos a seres humanos separándolos de otros datos procedentes de animales, a los fines del presente informe las similitudes entre los efectos observados justifican un tratamiento común del tema introduciendo las salvedades necesarias para destacar las discrepancias. Las dosis que se citan en esta subsección son dosis absorbidas en gray (Gy) procedentes de rayos X o rayos gamma administradas en radioterapia fraccionada de tipo corriente, a menos que se especifique otra cosa.

195. En materia de radiación cutánea, las reacciones varían desde el enrojecimiento y la pérdida temporal de cabello, hasta la atrofia, la depilación permanente, cambios de pigmentación, cambios anatómicos de los vasos sanguíneos, ulceración y necrosis. Para producir cambios observables en la piel de los animales mediante irradiación externa con rayos X o rayos gamma, normalmente es necesario administrar dosis agudas del orden de 7 a 10 Gy. No obstante, dado que este tejido tiene una gran capacidad de regeneración, se pueden tolerar dosis hasta cinco veces mayores cuando la radiación se administra en un período de semanas o meses. El examen de pacientes sometidos a radioterapia confirman en general estas observaciones. En los tratamientos únicos, aparece una pérdida temporal del cabello después de los 3 a 5 Gy, y los cambios cutáneos leves y reversibles se producen normalmente después de 1 ó 2 Gy. No obstante, la piel humana puede recibir hasta 50 ó 60 Gy repartidos a lo largo de seis semanas sin que se produzcan consecuencias graves. La zona y la profundidad de la irradiación cutánea son importantes, y en los casos de irradiación de zonas más grandes y capas más profundas aparecen cambios más agudos. Se sabe asimismo que otras variables biológicas influyen en el nivel de la dosis umbral: entre dichas variables figuran la ubicación anatómica de la zona cutánea, la edad de la persona irradiada, y el color normal de su piel. Las membranas mucosas muestran cambios análogos a los que aparecen en la piel al administrarse dosis similares.

196. En animales de laboratorio, los tejidos hematopoyéticos se muestran especialmente sensibles. Los linfocitos y los hemocitoblastos quedan en gran medida inactivados por una dosis única de una fracción de un Gy. Sin embargo, estos tejidos tienen una notable capacidad de regeneración. En el ser humano, el sistema hematopoyético es asimismo uno de los tejidos más sensibles. Se pueden observar reacciones después de administrar 0,5 a 1 Gy, tanto si las dosis se administran en una exposición única como en una serie de fracciones pequeñas. En el caso de este tejido, como en el de otros, el volumen irradiado es muy importante para la determinación del nivel de reacción. Si la depresión de las células de la sangre periférica es demasiado aguda, pueden presentarse infecciones y hemorragias. Estos son los síntomas principales del denominado síndrome hematopoyético, que puede causar la muerte.

197. La irradiación externa del sistema gastrointestinal produce una variedad de síntomas y lesiones que abarcan desde la dispepsia y la diarrea con pérdida de fluido y de sangre, hasta úlceras localizadas y, posteriormente, estrechamientos y obstrucciones del intestino. Las diversas secciones del conducto gastrointestinal deben tratarse por separado, dado que su sensibilidad no es la misma en todas partes. Teniendo en cuenta las formas tempranas de lesiones causadas por las radiaciones, el estómago del ser humano puede tolerar hasta 40 Gy de tratamiento fraccionado de larga duración. El intestino delgado puede soportar asimismo dosis del orden de 30 a 40 Gy repartidas en unas pocas semanas. El intestino grueso es más resistente aún, y da muestras únicamente de síntomas pasajeros con dosis similares, mientras que el esófago parece tolerar hasta 60 Gy de irradiación fraccionada. Las consecuencias tardías de estas dosis grandes (en particular las administradas en volúmenes grandes) son poco conocidas y difíciles de cuantificar. El hígado es un órgano relativamente resistente a las radiaciones. En los animales, son necesarias dosis únicas superiores a los 10 Gy para inducir daños permanentes en el hígado, y estas dosis pueden aumentarse hasta seis veces en períodos amplios de radiación fraccionada. En el ser humano, se sabe que el hígado puede tolerar entre 40 y 50 Gy durante 30 días administrados a partes del citado órgano, y el umbral de efectos mensurables se sitúa en torno a los 30 Gy de la radioterapia fraccionada corriente.

198. Dosis moderadas de radiación en los pulmones pueden provocar neumonitis, que a través de una compleja cadena de reacciones patológicas acaba por producir fibrosis y pérdida de la función. La sensibilidad del pulmón respecto de los tratamientos de irradiación largos es moderada. La dosis superiores a los 20 Gy administradas en unas pocas semanas pueden conducir a una incidencia de complicaciones apreciablemente mayor. Entre otros órganos torácicos, el corazón se considera como bastante resistente a las radiaciones en los animales de laboratorio, en los que el citado órgano muestra sólo cambios microscópicos en las células musculares y en los vasos sanguíneos después de recibir dosis moderadas. En el ser humano, al cabo de tratamientos largos fraccionados equivalentes a dosis totales superiores a 60 Gy, aparece una elevada incidencia de complicaciones cardíacas consistentes principalmente en pericarditis y, con el tiempo, también fibrosis.

199. El sistema urinario presenta una amplia gama de sensibilidades en sus diversas estructuras: se cree que el riñón es la más vulnerable, seguido por la vejiga y los uréteres. Las dosis elevadas de radiación al riñón producen normalmente nefritis aguda y crónica seguida de hipertensión y proteinuria. En los animales de laboratorio, se ha informado de cambios ocurridos después de irradiación aguda con dosis umbral comprendidas entre los 5 y los 12 Gy. Mediante la fraccionación convencional, estas dosis se podrían aumentar en un factor de tres por lo menos. En el ser humano, una dosis de 20 a 24 Gy administrada en tres a cuatro semanas produce alteraciones de la función renal, de manera que se considera normalmente que la dosis de tolerancia en radioterapia es de alrededor de 23 Gy en cinco semanas. Tanto en los seres humanos como en los animales de laboratorio el riñón parece ser más sensible en el momento que sigue al nacimiento del sujeto. Se considera que la tolerancia de dosificación de la vejiga está entre 55 y 60 Gy administrados en el curso de tres a cuatro semanas.

200. Los testículos y los ovarios son especialmente sensibles. La irradiación de los testículos puede provocar la esterilidad temporal o completa, según sea la dosis. Los testículos parecen ser un caso único, en el sentido de que la irradiación fraccionada provoca más lesiones no estocásticas, en lugar de menos lesiones de este tipo, que los tratamientos únicos. En el ser humano, se ha informado de que dosis únicas tan bajas como 0,1 Gy han provocado esterilidad temporal, aunque se precisan dosis superiores a los 2 Gy para producir aspermia permanente. A veces pueden ser necesarios muchos años para completar la recuperación funcional, después de recibidas dosis que causaron lesiones severas. El ovario adulto es más resistente que los testículos, dado que, en el momento del nacimiento, las células oogoniales han progresado todas ellas hasta convertirse en oocitos más resistentes. No obstante, si se irradia el ovario cuando éste se está desarrollando, los tratamientos fraccionados de un total de 2 Gy provocan graves lesiones en las perras y las monas. En la mujer, la esterilidad permanente se produce como consecuencia de dosis únicas superiores o cercanas a los 3 Gy, o de dosis fraccionadas más altas.

201. Las dosis umbral para el sistema nervioso central varían según las diferentes estructuras. Las lesiones consisten en alteraciones de la estructura neuroglial, pérdida de mielina, encefalitis y necrosis. Se cree que los daños más graves obedecen, al menos en parte, a lesiones primarias de los vasos sanguíneos, y tales lesiones son irreversibles. El sistema nervioso central tiene una capacidad de regeneración limitada. Los datos obtenidos con animales indican que los daños estructurales a las células neurogliales pueden aparecer después de dosis de entre 1 y 6 Gy, las cuales pueden producir degeneración celular algunos meses después del tratamiento. Dosis más elevadas provocarán efectos más tempranos. En el ser

humano, la tolerancia de dosificación en radioterapia por lo que respecta a la totalidad del cerebro se sitúa en torno a los 55 Gy administrados en un plazo de cinco a seis semanas, pero se detectan cambios morfológicos al cabo de 10 Gy de tratamiento fraccionado. Las dosis umbral para la médula espinal son más bajas, situándose en la región de los 35 Gy en un período de cuatro semanas. Los efectos de la fraccionación son especialmente importantes en lo relativo al cerebro y a la médula espinal.

202. La irradiación del cartílago que está creciendo provoca alteraciones en el proceso de formación ósea y da como resultado deformidades. El cartílago en fase de crecimiento es muy sensible y la dosis umbral que provoca la atrofia del crecimiento probablemente es pequeña, cabiendo la posibilidad de que sea igual a cero. En los animales jóvenes, se ha informado de un 3% aproximadamente de atrofia por cada Gy. En los niños, dosis de un total de 10 Gy o más administradas en fracciones diarias durante unas pocas semanas bastan para provocar algún grado de retardo en el crecimiento. Cuanto más joven es el niño, más grave es el grado de atrofia. Por otra parte, el cartílago maduro puede tolerar dosis mucho más elevadas. En general, se considera que el hueso adulto es bastante resistente, y que dosis totales de 65 Gy administradas en un período de seis a ocho semanas normalmente no provocan necrosis; no obstante, puede producirse una predisposición a la fractura, según la tensión mecánica que el hueso ejerza normalmente.

203. De los numerosos tejidos que hay en la región del ojo (glándulas lagrimales, conjuntiva, córnea, esclerótica, retina) el cristalino es el más sensible a las radiaciones, produciéndose opacidad del cristalino o cataratas clínicas. Los efectos iniciales aparecen en el ser humano después de dos Gy de exposición aguda. En algunos animales, como el ratón, normalmente bastan dosis mucho menores para provocar la aparición temprana de cataratas. Respecto del cristalino, la elevación de la dosis umbral en mayor fraccionamiento puede ser más bien inferior que en el caso de muchos otros tejidos. En cuanto a los órganos endocrinos se considera que, en el adulto, la pituitaria es resistente a las radiaciones. El tiroides es un tejido que prolifera lentamente y en el que los efectos de las radiaciones pueden aparecer al cabo de muchos años. Se precisan dosis del orden de 10 Gy en un tratamiento único para provocar lesiones morfológicas a las células del tiroides y deficiencia observable de la función.

204. La secuencia temporal entre los cambios en los vasos sanguíneos y en los tejidos parenquimatosos sugiere que la lesión vascular puede desempeñar un papel importante en los cambios patológicos (pérdida celular, fibrosis) que siguen a dosis elevadas de radiación, aunque es difícil evaluar separadamente la reacción de los integrantes vasculares y parenquimatosos. Se sabe que en los vasos sanguíneos de órganos irradiados aparecen lesiones morfológicas, y mucho tiempo después de la exposición estos cambios pueden conducir a alteraciones de la función vascular. El umbral de dosificación para cambios relativamente sutiles suele ser más bajo que cuando se trata de lesiones funcionales más pronunciadas. Los vasos sanguíneos ubicados en tejidos diferentes pueden tener umbrales de reacción distintos.

205. El Comité examinó sistemáticamente los efectos producidos por los neutrones rápidos, de los que se sabe que producen, a dosis iguales, un grado más elevado de efectos biológicos que los rayos X o gamma. En el caso de dosis agudas que provocan lesiones detectables, la eficacia de los neutrones equivale normalmente a entre una y cinco veces la de los rayos X o gamma. Los neutrones son más eficaces aún en el transcurso de tratamientos fraccionados, a medida que disminuye la dosis por fracción.

206. Los efectos no estocásticos producidos por radionúclidos emisores de radiación beta o gamma administrados internamente son por lo general compatibles, en cuanto a tipo y grado con los efectos provocados por dosis medias comparables de radiación externa de los tejidos administrada a un ritmo de dosificación bajo. Los tejidos que resultan afectados por el tratamiento con un núclido determinado dependen de la distribución particular de este núclido en el organismo; el grado de lesión depende de las características de la radiación y de la distribución temporal de la energía administrada. Aun no se han estudiado plenamente los modelos destinados a relacionar la distribución temporal de las dosis absorbidas de un radionúclido con la distribución temporal de la irradiación externa fraccionada sobre la base de efectos iguales. Existen asimismo incertidumbres en relación con la microdistribución de la energía del radionúclido en los puntos de la célula elegidos como objetivos, y estas incertidumbres repercuten en la asignación de valores exactos de eficacia biológica relativa (EBR) a las radiaciones no penetrantes, tales como las partículas alfa y los electrones Auger de baja energía emitidos por los radionúclidos

3. Acortamiento de la vida causado por las radiaciones 15/

207. AUNQUE EL ACORTAMIENTO DE LA VIDA ES UNA CONSECUENCIA REAL DE LA EXPOSICION A LAS RADIACIONES, EXISTEN MUCHOS DATOS, REUNIDOS EN EXPERIMENTOS CON ANIMALES, QUE INDICAN QUE ESE EFECTO SE DEBE ESENCIALMENTE, CUANDO SE TRATA DE DOSIS Y TASAS DE DOSIS BAJAS O INTERMEDIAS, AL SURGIMIENTO DE ENFERMEDADES NEOPLASTICAS CONCRETAS. LOS DATOS EPIDEMIOLOGICOS REUNIDOS SOBRE LOS SUPERVIVIENTES DE HIROSHIMA Y NAGASAKI PARECEN SUSTENTAR LA MISMA CONCLUSION PARA LOS SERES HUMANOS.

208. Desde los informes de 1958 y 1962, el Comité no había estudiado sistemáticamente los datos sobre el efecto no específico del acortamiento de la vida, que, según se ha afirmado con frecuencia, ocurre además de otras consecuencias más concretas (esencialmente carcinógenas) de la irradiación. Los principales objetivos del presente examen del tema por el Comité son: estudiar la existencia de ese efecto y su relación con el envejecimiento natural o, posiblemente, con el envejecimiento causado por las radiaciones; investigar la gama de dosis, tasas de dosis y condiciones de irradiación en que puede manifestarse ese efecto; determinar la influencia de otras variables biológicas (constitución genética, edad, sexo) sobre ese efecto.

209. Se ha señalado con frecuencia en el pasado que los animales que sobrevivían a los efectos a corto plazo de la irradiación mostraban síntomas típicos de senescencia (encanecimiento del pelo, aparición de cataratas, pérdida de la capacidad de reproducción). Esos animales tendían a morir antes que los no irradiados que se utilizaban como testigos, con una evidente anticipación de enfermedades características de edades más tardías. En ausencia de un conocimiento profundo de la biología de la senescencia o de los propios cambios causados por las radiaciones, el conjunto de esas observaciones condujo a la conclusión de que las radiaciones, además de acortar la vida, podían producir también una aceleración del envejecimiento. Se han realizado muchas investigaciones en un esfuerzo por fundamentar esa hipótesis.

15/ Ese tema se examina detalladamente en el Anexo K, titulado "Acortamiento de la vida causado por las radiaciones".

210. El Comité examinó someramente las teorías sobre el envejecimiento fisiológico y los posibles mecanismos de la senescencia. Del examen se desprende que en la actualidad se sabe tan poco de los propios fenómenos biológicos que no tiene sentido continuar el estudio de sus posibles modificaciones por las radiaciones. Se piensa, en cambio, que sería útil estudiar la influencia de la irradiación en los aspectos mensurables de la senescencia, es decir, en el propio acortamiento de la vida. En este contexto, es legítimo preguntarse si el acortamiento de la vida causado por las radiaciones puede atribuirse a condiciones o enfermedades concretas y en qué medida puede explicarse por causas difusas no específicas.

211. Suele resultar relativamente fácil determinar con exactitud el momento de la muerte y analizar las estadísticas que de él se derivan (media y mediana de los tiempos de supervivencia, tasas de mortalidad por edades, etc.). Se trata, sin embargo, de los aspectos visibles de numerosos fenómenos subyacentes. Para dar una respuesta significativa a los problemas esbozados en el párrafo anterior, es preciso determinar las causas de muerte mediante cuidadosas investigaciones patológicas, objetivo de por sí difícil, especialmente en individuos viejos, debido a la presencia de diversas enfermedades entre las que existen interacciones. No obstante, esos datos son fundamentales para determinar si la irradiación tiene esos efectos específicos. En principio, el Comité opina que, a menos que pueda demostrarse que las radiaciones adelantan el momento de la muerte sin modificar el espectro y la incidencia relativa de enfermedades que se manifiestan normalmente en una población no irradiada, es insostenible la noción de no especificidad del acortamiento de la vida. En la práctica, el Comité observa que nunca se ha llegado a una demostración experimental convincente del acortamiento no específico de la vida, especialmente teniendo en cuenta los precisos análisis estadísticos por los que se pueden determinar los efectos de las enfermedades relacionadas con la edad.

212. Por el contrario, la gran mayoría de los datos obtenidos con animales de laboratorio, con dosis y tasas de dosis que no producen daños detectables por irradiación a corto plazo, no sustentan la teoría de que la irradiación puede causar envejecimiento prematuro o acelerado ni la de que el surgimiento de cánceres adicionales, que puede resultar evidente en esas condiciones, es sólo un aspecto de un efecto más general consistente en la aceleración del proceso de envejecimiento. Eso no está en contradicción con otras observaciones de que, con dosis o tasas de dosis suficientemente altas para causar la muerte a corto plazo de una proporción importante de los animales irradiados, los daños no específicos causados a los vasos sanguíneos y a los tejidos conjuntivos o los efectos no estocásticos en otros tejidos podrían explicar formas de muerte no cancerosas más difusas que se observan. La exposición a dosis tan altas sólo tendría pertinencia en circunstancias excepcionales.

213. El Comité analizó la información sobre el acortamiento de la vida causado en muchas especies y variedades de animales de laboratorio por rayos X y rayos gamma o por neutrones rápidos administrados en dosis únicas. La irradiación por dosis única es poco frecuente en la práctica, pero resulta útil para determinar los valores máximos del efecto. Aunque en cada serie experimental dado el acortamiento de la vida causado por los rayos X o los rayos gammas presenta relaciones lineales o curvilíneas diferentes con la dosis, se demostró que una relación lineal - cuadrática sin umbral encajaba bien en los datos combinados de muchas series realizadas con ratones. En una relación lineal, el efecto medio de acortamiento de la vida es de alrededor del 5% para una dosis de 1 Gy, con diferencias en una u otra dirección según las especies de animales y sus características biológicas. En la misma especie animal y para dosis únicas de neutrones rápidos, parece existir una relación convexa ascendente entre el acortamiento de la vida y la dosis; también en ese caso son muy pronunciadas las variaciones de una variedad a otra.

214. Las condiciones de irradiación más pertinentes para fines prácticos son aquellas en que los animales están expuestos a una tasa baja durante toda su vida. Por supuesto, para conseguir efectos significativos han de administrarse tasas de dosis superiores en muchos órdenes de magnitud a la tasa normal ambiente. En condiciones de irradiación continua, la eficacia de las dosis de rayos X o rayos gamma podría ser inferior hasta en un orden de magnitud a la de las dosis únicas. En lo que respecta a los rayos X y los rayos gamma, la irradiación a una tasa de dosis baja durante toda la vida define aproximadamente un límite inferior de eficacia en la labor experimental. En condiciones de irradiación durante toda la vida, es muy difícil distinguir entre las variables dosis y tiempo y analizarlas separadamente, pues la primera constituye una función de la segunda. Así, según la duración de la vida de los animales, su susceptibilidad al acortamiento de la vida y los valores de la tasa de exposición, en una amplia gama de dosis pueden observarse diferentes formas de relación dosis-reacción, pero para dosis y tasas de dosis bajas se registran normalmente formas lineales.

215. El Comité examinó todos los datos disponibles sobre los efectos de los cambios de la tasa de irradiación o de las pautas de fraccionamiento de la dosis sobre el acortamiento de la vida, y ha llegado a la conclusión de que, en una amplia gama de esas variables, el cambio de eficacia es modesto en el caso de los rayos X o los rayos gammas y dudoso en el caso de los neutrones. Otros datos se obtuvieron exponiendo a animales a un tratamiento prolongado y poniendo fin al tratamiento algún tiempo antes de la muerte, a fin de asegurar evaluaciones más precisas de las relaciones entre el tiempo y la dosis. Estos datos son, en realidad, muy difíciles de interpretar, probablemente porque la susceptibilidad del animal al acortamiento de la vida cambia durante la irradiación como resultado de fenómenos de reparación estimulados por el propio tratamiento de irradiación. En general, sin embargo, la respuesta de acortamiento de la vida después de esos tratamientos se sitúa a un nivel intermedio entre el correspondiente a tasas de dosis muy altas y el correspondiente a tasas de dosis bajas pero administradas durante un período muy prolongado.

216. La irradiación interna por radionúclidos inyectados o ingeridos suele crear condiciones de exposición selectiva de determinados órganos o tejidos, debido a la concentración de los diversos radionúclidos en diferentes partes del cuerpo. Se ha observado que en esas condiciones el acortamiento de la vida que se registra puede explicarse por la inducción o aceleración de cánceres en las partes irradiadas del cuerpo, excepto en el caso de dosis muy altas, en el que pueden detectarse daños tempranos no estocásticos.

217. También se ha examinado la eficacia de los neutrones de hasta 14 MeV en el acortamiento de la vida, en comparación con la eficacia de los rayos X y los rayos gamma. En cada serie experimental, dosis relativamente altas de neutrones son de tres a diez veces más eficaces como medio de producir un pronunciado acortamiento de la vida. Con dosis y tasas de dosis más bajas se registran valores de EBR más altos.

218. El Comité examinó las variables biológicas que influyen en el acortamiento de la vida. Así, se estudiaron, antes y después del nacimiento, las características genéticas de las especies y variedades y el sexo y la edad del animal. También se examinaron las modificaciones del efecto de acortamiento de la vida como consecuencia de diversos tratamientos físicos, químicos o biológicos. Teniendo en cuenta que el acortamiento de la vida depende considerablemente de las características patológicas de las diversas especies, el Comité considera que, en el estado actual

de los conocimientos, no se pueden hacer proyecciones cuantitativas de datos obtenidos en animales experimentales para aplicarlas al hombre en condiciones de pertinencia práctica.

219. Entre las personas expuestas a radiaciones por razón de su trabajo, en particular los radiólogos, en el periodo inmediatamente posterior al descubrimiento de los rayos X y del radio se manifestaron radiopatías tales como la leucemia y el cáncer de piel. Como indican algunos datos, pero no todos, algunos de los primeros radiólogos expuestos durante un largo período de tiempo a dosis desconocidas pero probablemente altas de radiaciones podrían haber sufrido un acortamiento de su vida además del imputable a las dolencias mencionadas. Sin embargo, se ha informado de que el acortamiento de la vida no vinculado al cáncer ha desaparecido entre los radiólogos que empezaron a trabajar expuestos a radiaciones después de la introducción de los sistemas de protección. De ahí se desprende lógicamente que dentro de la gama recomendada como "permisible" en la época en que se registraron esas exposiciones (es decir, con límites de dosis hasta 10 veces superiores a los aceptados en la actualidad) no podía esperarse una reducción de la vida, y, de existir un aumento residual de la leucemia no era suficiente para causar un acortamiento estadísticamente detectable de la vida en la especie humana, dado el tamaño de las muestras habitualmente utilizadas.

220. Los datos obtenidos en grupos de pacientes de radioterapia no aportan pruebas de acortamiento de la vida. Esta afirmación queda limitada por la naturaleza de los datos en que se apoya y en particular por dos consideraciones. En primer lugar, el hecho de que sólo se irradió una parte del cuerpo de los pacientes, por lo que había menos motivos para esperar un acortamiento no específico de la vida; en segundo lugar, el tamaño de los grupos examinados suele ser más pequeño que el de los individuos expuestos a las radiaciones por su trabajo y mucho menor que el de los sobrevivientes de bombas atómicas.

221. La aparición de casos de leucemia y de cáncer además de la tasa media espontánea de inducción produjo algún acortamiento de la vida entre los sobrevivientes de las explosiones atómicas en el Japón. La magnitud de ese efecto puede explicarse totalmente por esas enfermedades y no es necesario postular una causa no específica. El gran tamaño de la muestra en que se realizaron estas observaciones y el hecho de que éstas se hayan confirmado durante más de 30 años, aunque correspondan sólo al sector más viejo de la población, hacen que esta conclusión sea bastante atendible.

4. Efectos biológicos de las radiaciones en combinación con otros agentes 16/

222. Los efectos combinados de las radiaciones y de otros agentes físicos, químicos y biológicos son potencialmente muy importantes, pero los datos pertinentes están dispersos y son contradictorios. Por lo tanto, en el presente examen se ha hecho hincapié principalmente en el aspecto teórico, tomando ejemplos ilustrativos de las complejidades del tema de informes experimentales y epidemiológicos. Si se exceptúa el caso del humo del tabaco, que puede actuar de manera sinérgica con las radiaciones para producir cánceres de pulmón en algunas condiciones de trabajo, en el presente estudio no se ha podido documentar en el hombre ningún caso claro de interacción, al menos del tipo que puede producir

16/ Este tema se examina ampliamente en el Anexo L, titulado "Efectos biológicos de las radiaciones en combinación con otros agentes físicos, químicos y biológicos".

modificaciones sustanciales en los cálculos de riesgo para sectores importantes de la población. El Comité ha esbozado las direcciones principales que podrían seguirse con provecho en los trabajos futuros, dado que los datos sobre efectos combinados son actualmente insuficientes.

223. Los efectos conjuntos de las radiaciones ionizantes y otros agentes físicos, químicos o biológicos son potencialmente muy importantes, debido a que dichas radiaciones se encuentran por todas partes en la naturaleza y, en la vida moderna, pueden concebirse muchas situaciones que podrían conducir a algún tipo de interacción.

224. A pesar de los numerosos informes que pretenden mostrar o muestran realmente algún tipo de interacción, el Comité considera que los resultados de estos estudios, en conjunto, no son concluyentes por diversas razones. En primer lugar, cuando se examinaron globalmente a la luz de los objetivos del Comité, estos informes parecieron referirse a niveles de exposición mucho más elevados que los niveles ambientales, que son los que interesan en la práctica, y referirse a exposiciones únicas más que a exposiciones prolongadas. En segundo lugar, no se hacía un tratamiento sistemático de cada uno de los casos de interacción con respecto a la dosis de los agentes interactuantes y a los mecanismos de interacción. En tercer lugar, muchos de los informes utilizaban en muy poca medida las metodologías de análisis adecuadas, aunque tales metodologías estaban disponibles desde hacía mucho tiempo en otras esferas de las ciencias biológicas. Por último, la falta de bases conceptuales sólidas sobre la posible naturaleza de la interacción hizo que resultase imposible definir esta noción aunque más no fuese con un grado de refinamiento moderado.

225. En vista de la situación antes descrita, el Comité estimó que sería más adecuado emprender un tratamiento teórico preliminar de este campo en un intento por sugerir definiciones, definir metodologías de análisis e ilustrar el carácter complejo de los problemas mediante ejemplos prácticos, en vez de llevar a cabo un examen sistemático de informes bibliográficos. El Comité examinó dos tipos de interacciones posibles. En el primer tipo, tanto las radiaciones ionizantes como el otro agente interactuante pueden producir cada uno algunos efectos: en este caso, se considera que la aditividad, el sinergismo y el antagonismo son las tres condiciones de interacción posibles. El segundo tipo es el que tienen lugar entre las radiaciones ionizantes y cualquier otro agente que en sí mismo es inactivo cuando se administra aislado: los términos protección y sensibilización se utilizan en este caso para describir la reducción o la intensificación, respectivamente, de los efectos de las radiaciones cuando éstas actúan por sí solas. Esta clasificación no es absoluta, dado que las dosis de los agentes interactuantes y los tipos de efecto pueden influir profundamente en la naturaleza y el grado de la interacción. Las sustancias que fomentan el cáncer se examinaron como caso especial.

226. En primer lugar se debatieron los conceptos de exposición, dosis y reacción en su aplicación al caso especial de las acciones combinadas. A continuación, el Comité examinó las metodologías de análisis existentes, que podrán permitir efectuar una evaluación, al menos cualitativa, de los resultados de los tratamientos combinados. Se proporcionó asimismo un examen probabilístico más pormenorizado de este tema, el cual, en determinadas condiciones, puede conducir a una descripción exacta de los factores de interacción. Se prestó atención a la aplicabilidad de estos conceptos fundamentales, pero un tanto abstractos, a las situaciones prácticas en presencia de efectos biológicos complejos.

227. Para obtener respuestas significativas, es necesario que los efectos biológicos sometidos a estudio estén bien definidos y explorados respecto de la gama completa de dosis de los agentes interactuantes, aplicados tanto por separado como conjuntamente. La modalidad temporal de exposición (simultánea o sucesiva, única o fraccionada) y el orden de administración de los agentes tienen frecuentemente una importancia decisiva respecto de la producción de un tipo y un grado de efecto determinados. Es asimismo condición previa tener un conocimiento pormenorizado de los mecanismos, para poder hacer una evaluación de las condiciones y del nivel de interacción. No obstante, en muchos de los trabajos examinados estos requisitos básicos no se habían cumplido o se habían explorado únicamente de manera imperfecta; asimismo, la significación estadística de los resultados era con frecuencia tan baja que hacía que cualquier evaluación de la interacción fuese indicativa en el mejor de los casos.

228. Respecto de la interacción de las radiaciones y otros agentes físicos, la información disponible se refería en su mayor parte a interacciones entre diferentes tipos de radiaciones ionizantes o entre radiaciones ionizantes, por un lado, y radiación ultravioleta, microondas y calor por otro. Se informó que al parecer existía alguna acción sinérgica en los trabajadores de la industria radiotécnica expuestos simultáneamente a las radiaciones ionizantes y a las microondas. Los efectos sometidos a estudio eran las alteraciones funcionales del sistema nervioso autónomo y los síntomas subjetivos de malestar. Un análisis crítico de los datos mostró que la naturaleza de los síntomas, la dificultad de su cuantificación, las condiciones de exposición insuficientemente controladas y el carácter incompleto de las estadísticas eran razones para contemplar estos informes con bastante reserva. Se disponía de una cantidad menor de datos sobre las acciones y la altitud elevada, tensión física, la lesión mecánica y el ultrasonido, y los resultados parecieron en general no concluyentes.

229. Se han examinado muchas clases distintas de compuestos químicos para detectar su posible interacción con las radiaciones. Los compuestos inorgánicos que contienen plomo, cadmio, cloro, berilio y platino pueden tener importancia en condiciones especiales de trabajo, y podría ser útil ampliar la experiencia limitada de que se dispone para llegar a conclusiones más definitivas. Se estimó que los datos sobre diversos tipos de polvo eran muy poco ciertos, ya que se describieron efectos aditivos, sinérgicos e inhibitorios en un grado que no superaba un factor de cuatro en las peores circunstancias posibles, frente a los efectos que las radiaciones pueden inducir por sí mismas. Los antibióticos, las sustancias quimioterapéuticas y otros agentes farmacológicos parecían tener más importancia en situaciones clínicas especiales que en el caso de la población en general.

230. La posible acción combinada de las radiaciones y compuestos conocidos por sus propiedades carcinogénicas fue objeto de especial atención. Aunque la información examinada se refería a diversos iniciadores y promotores, los datos disponibles para cada una de estas sustancias eran muy incompletos y las observaciones eran contradictorias. No se podía ofrecer una conclusión definitiva respecto de ninguna sustancia o de ninguna clase de tumor a menos que la dosis, el plan de dosificación y las modalidades de tratamiento de los tratamientos combinados se hubiesen analizado con mayor profundidad. La experiencia de que se dispone en materia de benzopireno, dietilnitrosamina, diversos tipos de polvo y gases de escape del petróleo podría ampliarse para obtener conclusiones más sólidas, en vista de la presencia generalizada de estas sustancias en el medio ambiente.

231. Parece que en el hombre, el humo del tabaco puede actuar reduciendo el tiempo de aparición del cáncer pulmonar inducido por las partículas alfa de los productos descendientes del radón. Todavía no está claro si semejante acción podría deberse al fomento de ésta por algunos elementos concretos del humo del tabaco, o podría atribuirse a otros efectos no específicos en los tejidos respiratorios. La evaluación exacta del factor de interacción puede depender de manera crítica de la duración del período de observación, así como de la estructura de edad y del historial de exposición de las personas expuestas al riesgo.

232. En los animales, hay indicios de que algunas hormonas pueden influir en el tiempo o la tasa de aparición de tumores radioinducidos, particularmente de la glándula mamaria. Este tipo de sinergismo se expresa principalmente por una reducción del tiempo necesario para la inducción del tumor. No obstante, el efecto sinérgico varía mucho según la especie a la que pertenecen los animales, de manera que el mismo plan de tratamiento producirá sinergismo en algunas especies y antagonismo en otras. Existe asimismo variabilidad en relación con el tipo de tumor. Se carece de información directa sobre estos fenómenos en el hombre. Otros agentes biológicos como los virus y las bacterias, o los cambios de dieta, han producido resultados ambiguos o negativos al aplicarlos conjuntamente con las radiaciones.

5. Recapitulación y conclusiones

233. Los estudios realizados por el Comité en la esfera de los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes no han dado por resultado revisiones importantes de las ideas actuales sobre las evaluaciones del riesgo genético o los efectos somáticos analizados. No obstante, dichos estudios se han centrado en algunos acontecimientos nuevos e importantes y han conducido al refinamiento de conocimientos anteriores. En conjunto, estos estudios nuevos han reforzado la convicción del Comité de que los mecanismos de algunos efectos de las radiaciones comienzan a entenderse razonablemente bien. Esto se aplica especialmente a los efectos no estocásticos.

234. En lo relativo a otros efectos, como los que dependen de la transformación neoplásica de las células irradiadas, el conocimiento actual de los mecanismos es todavía en gran parte incompleto. Se realizará un análisis adicional de los mecanismos de inducción del cáncer cuando se aclare la dosimetría de los supervivientes de Hiroshima y Nagasaki. El Comité continuará su vigilancia y revisión de toda la esfera de la carcinogénesis radioinducida, incluidos los fundamentos teóricos y los cálculos de riesgo efectivo sobre la inducción del cáncer en el hombre.

235. Con respecto a los efectos hereditarios, el Comité toma nota de que se han realizado progresos adicionales en nuestro conocimiento de la cinética de la reacción a la dosis y de otros aspectos de algunos de los tipos más importantes de cambio genético que se pueden inducir mediante las radiaciones en mamíferos de laboratorio. La utilización amplia de datos experimentales para la evaluación del riesgo genético se considera todavía esencial en ausencia de resultados positivos significativos con respecto a los efectos hereditarios que siguen a la irradiación de seres humanos. Se ha creado un método nuevo para evaluar la magnitud de los riesgos que entrañan para la primera generación las mutaciones dominantes perjudiciales. Este enfoque y otros métodos para calcular los riesgos genéticos en la progenie de las personas expuestas a pequeñas dosis de radiación han producido resultados muy similares. Sin embargo, siguen planteándose numerosos problemas

importantes. Por ejemplo, se considera que las células germinativas femeninas humanas son menos sensibles que las células germinativas masculinas en lo tocante a la inducción de daños genéticos como resultado de la irradiación de bajo nivel, pero todavía no se conoce con certeza la magnitud efectiva de esta diferencia. Será necesario asimismo investigar más la cuestión de hasta qué punto las mutaciones recesivas conducen a daños genéticos durante muchas generaciones después de la primera. No obstante, los progresos en la genética humana y en los métodos nuevos para comparar las tasas de mutación en las células humanas y animales tendrían que ayudar a resolver algunos de estos problemas pendientes.

Apéndice I

LISTAS DE MIEMBROS DE DELEGACIONES NACIONALES

A continuación se enumeran los especialistas científicos que participaron en la preparación del presente informe mientras asistían a las reuniones del Comité en calidad de miembros de delegaciones nacionales.

ALEMANIA, REPUBLICA FEDERAL DE

F.E. Stieve (representante), U. Ehling, W. Jacobi, A. Kaul, H. Kriegel,
L. Rausch, C. Stréffer

ARGENTINA

D. Beninson (Representante), A.J. González (Representante)

AUSTRALIA

K. Lokan (Representante), J.R. Moroney (Representante)

BELGICA

M. Errera (Representante), F.H. Sobels (Representante), B.T. Aten, J. Maisin

BRASIL

E. Penna Franca (Representante)

CANADA

G. Butler (Representante), E.G. Letourneau (Representante), A.M. Marko
(Representante), W.R. Bush, E. Müller, D.K. Myers, F. Prantl, H. Rotchild

CHECOSLOVAQUIA

M. Klímek (Representante)

EGIPTO

El-Kharadly

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

R.D. Moseley (Representante), W.K. Sinclair (Representante), R.E. Anderson,
R. Baker, A.M. Brues, C. Edigton, J.H. Harley, F.A. Mettler, W.L. Russel,
J.B. Storer, J.C. Villforth, H.O. Wyckoff

FRANCIA

H. Jammet (Representante), A. Bouville, R. Coulon, B. Dutrillaux, J. Lafuma,
P. Pellerin

INDIA

V.A. Shah (Representante), S.D. Soman (Representante), K. Sundaram (Representante)

INDONESIA

A. Baiquni (Representante), O. Iskandar

JAPON

T. Kumatori (Representante), K. Misono (Representante), R. Ichikawa, A. Kasai, Y. Kishimoto, S. Kobayashi, S. Nakai

MEXICO

J.R. Ortíz Magaña (Representante), J.R. Telich (Representante)

PERU

C. Guzmán Acevedo (Representante), M. Zaharia (Representante)

POLONIA

Z. Jaworowski (Representante)

REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE

E. Pochin (Representante), C.O. Carter, K.E. Halnan, F. Morley, A.G. Searle

SUDAN

A. Hidayatalla (Representante)

SUECIA

B. Lindell (Representante), K. Edvarson, K.G. Lüning, J.O. Snihs, G. Walinder

UNION DE REPUBLICAS SOCIALISTAS SOVIETICAS

A. Guskowa (Representante), A.M. Kuzin (Representante), R.M. Alexakhin, A. Moiseev, V.V. Redkin, V.A. Shevchenko, A.I. Vichrov.

Apéndice II

LISTA DE EXPERTOS Y CONSULTORES CIENTIFICOS QUE HAN COOPERADO
CON EL COMITE EN LA PREPARACION DEL INFORME

D. Beninson	V. Lyscov
B.G. Bennett	R.B. Persson
A. Bouville	K. Sankaranarayanan
R.H. Clarke	G. Silini
M. Coppola	J.O. Snihs
M.F. Cottrall	F.D. Sowby
S.B. Field	F. Taylor
B. Lindell	G.A.M. Webb
J. Liniecki	

Apéndice III

LISTA DE INFORMES RECIBIDOS POR EL COMITE

1. A continuación se enumeran los informes recibidos por el Comité, procedentes de gobiernos desde el 13 de abril de 1977 al 26 de marzo de 1982.
2. Los informes recibidos por el Comité antes del 12 de abril de 1977 figuran en los anexos de los anteriores informes presentados por el Comité a la Asamblea General.

Signatura del documento	País	Título
A/AC.82/R.		
1561	Estados Unidos de América	Health and Safety Laboratory: Environmental Quarterly, HASL-318, 1 april 1977
1562	Francia	Surveillance de la radioactivité en 1976
1563	Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	Radioactive fallout in air and rain: results to the end of 1976
1564	Alemania, República Federal de	Environmental radioactivity and radiation levels in the year 1975
1565	Estados Unidos de América	Health and Safety Laboratory: Environmental Quarterly, HASL-321, 1 July 1977
1566	Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	Radioactivity in human diet in the United Kingdom, 1976
1567	Japón	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 41, November 1976
1568	Japón	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 42, April 1977
1569	Estados Unidos de América	Health and Safety Laboratory: Environmental Quarterly, HASL-328, 1 October 1977
1570	Estados Unidos de América	Health and Safety Laboratory: Final tabulation of monthly strontium-90 fallout data: 1954-1976. HASL-329, 1 October 1977
1571	Suiza	20th Report of the Federal Commission on Radioactivity for the year 1976

Signatura del documento	País	Título
A/AC.82/G/L.		
1572	Alemania, República Federal de	The content of radioiodine in air, rain, grass, cowmilk and goatmilk following the Chinese nuclear test explosion on 26 September 1976
1573	Estados Unidos de América	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-334, 1 January 1978
1574	Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	Fallout in rainwater and airborne dust - levels in the UK during 1976
1575	Alemania, República Federal de	Environmental radioactivity and radiation levels in the year 1976
1576	Japón	Radioactivity Survey Data in Japan, number 43, November 1977
1577	Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	Radioactive fallout in air and rain: results to the end of 1977
1578	Estados Unidos de América	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-339, 1 April 1978
1579	Estados Unidos de América	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-342, 1 July 1978
1580	Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	Radioactivity in human diet
1581	Estados Unidos de América	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-344, 1 October 1978
1582	Estados Unidos de América	Environmental Measurements Laboratory: Index to Environmental Quarterly, EML-345
1583	Estados Unidos de América	Environmental Measurements Laboratory: Regional Baseline Station, Chester, N.J; EML-347
1584	Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	Calculation of dose rate and air ionisation from radioactive fallout deposited at Chilton, 1951 to 1977

Signatura del documento	País	Título
A/AC.82/G/L.		
1585	Suiza	21st Report of the Federal Commission on Radioactivity for the year 1977
1586	Suiza	Radiation levels and dosimetry of the persons occupationally exposed in Switzerland in 1977
1587	Alemania, República Federal de	Environmental radioactivity and radiation levels, annual report 1975
1588	Alemania, República Federal de	Environmental radioactivity and radiation levels, annual report 1976
1589	Alemania, República Federal de	External radiation exposure from natural radioactivity outside and in housings, with special reference to the influence of building materials
1590	Estados Unidos de América	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-349, 1 January 1979
1591	Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	Fallout in rainwater and airbrone dust - levels in the UK during 1977
1592	Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	Radiation exposure of the UK population
1593	Japón	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 46, September 1978
1594	Japón	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 47, December 1978
1595	Alemania, República Federal de	Stochastic late effects after partial body irradiation in diagnostic radiology
1596	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	Accumulation of radiostrontium by agricultural plants from soil in different soil and climatic conditions
1597	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	Some peculiarities of the extra-radical pollution of agricultural plants in different soil-climatic zones of the country
1598	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	Collective dose for the USSR population as a result of the use of the sources of ionizing radiation for medical purposes

Signatura del documento	País	Título
A/AC.82/G/L.		
1599	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	Late effects expressed as a yield of the mammary tumours after iodine-131 incorporation in conditions of combined action
1600	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	The biological danger of iodine-129
1601	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	The distribution of strontium-90 in the soils of the Azerbaijanian SSR
1602	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	The significance of iodine radionuclides in the toxicity of nuclear fission products
1603	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	The content of strontium-90 and caesium-137 of global origin in the food of the USSR population 1974-1975
1604	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	Resorption and metabolism of iodine-131 after its accumulation through grass
1605	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	The mechanism of the influence of lime and peat on the transfer of strontium-90 to the plants
1606	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	The model of vertical migration of ^{137}Cs in soils and prognostication of the exposure
1607	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	The content of strontium-90 in bones of the USSR population in 1974-1975
1608	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	Regularities in the behaviours of iodine radionuclides in the environment
1609	Estados Unidos de América	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-353, 1 April 1979
1610	Estados Unidos de América	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-356, 1 July 1979
1611	Japón	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 48, March 1979

Signatura del documento	País	Título
A/AC.82/G/L.		
1612	Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	Radioactive fallout in air and rain: results to the end of 1978
1613	Argentina	^{90}Sr and ^{137}Cs from fallout in Argentina: monitoring results to the end of 1978
1614	Alemania, República Federal de	Radiation levels in occupationally exposed persons
1615	Alemania, República Federal de	Radiation exposure in the Federal Republic of Germany in 1976 due to nuclear facilities
1616	Estados Unidos de América	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-363, 1 October 1979
1617	Estados Unidos de América	Environmental Measurements Laboratory: Regional Baseline Station, Chester, NJ; EML-367
1618	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	The application of radioactive admixtures for studies of the transport of compounds injected to the stratosphere
1619	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	The assessment of repair parameters and the effective dose after single internal contamination of the organism with radionuclides
1620	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	The possibility to use dogs' bones to indicate the content of strontium-90 in the human skeleton
1621	Suiza	22nd report of the Federal Commission on Radioactivity for the year 1978
1622	Estados Unidos de América	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-370, 1 January 1980
1623	Alemania, República Federal de	Environmental radioactivity and radiation levels, annual report 1977
1624	Alemania, República Federal de	Report of the Federal Government on environmental radioactivity and radiation levels in the year 1977

Signatura del documento	País	Título
A/AC.82/G/L.		
1625	Alemania, República Federal de	Methods and results of surveillance of radionuclides released from nuclear power plants
1626	Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	Radioactivity in human diet
1627	Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	Fallout in rainwater and airborne dust - levels in the UK during 1978
1628	Estados Unidos de América	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-371, 1 April 1980
1629	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	Photon radiation of natural radionuclides
1630	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	Ratio of ^{210}Po to ^{210}Pb in the bones of humans and animals
1631	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	The content of ^{90}Sr and ^{137}Cs in food products of the Estinian SSR 1966-1975
1632	Estados Unidos de América	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-374, 1 July 1980
1633	Francia	Surveillance de la radioactivité en 1977
1634	Francia	Surveillance de la radioactivité en 1978
1635	Alemania, República Federal de	Environmental radioactivity and radiation levels in the year 1978
1636	Estados Unidos de América	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-381, 1 October 1980
1637	Japón	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 50, September 1979
1638	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	Genetic effects in populations after the action of ionizing radiation

Signatura del documento	País	Título
A/AC.82/G/L.		
1639	Japón	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 49, June 1979
1640	Suiza	23rd Report of the Federal Commission on Radioactivity for the year 1979
1641	Estados Unidos de América	Environmental Measurements Laboratory: Regional Baseline Station, Chester, N.J.
1642	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	Caesium-137 and strontium-90 in the biosphere of polar regions of the USSR
1643	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	Strontium-90 in bone tissue of the USSR population for the period 1973-1978
1644	Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	Radioactive fallout in air and rain: results to the end of 1979
1645	Bélgica	Radioactivity measured at Mol 1972
1646	Bélgica	Radioactivity measured at Mol 1973
1647	Bélgica	Radioactivity measured at Mol 1974
1648	Francia	Surveillance de la radioactivité en 1979
1649	Japón	Radioactivity Survey Data in Japan Number 51, December 1979
1650	Estados Unidos de América	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-390, 1 May 1981
1651	Alemania, República Federal de	Environmental radioactivity and radiation levels, annual report 1978
1652	Argentina	Radiological impact of radioactive waste management
1653	Argentina	Levels of ^{137}Cs and ^{90}Sr in environmental samples in Argentina 1960-1980
1654	Argentina	Exposure of the public related to the operation of the nuclear power plant in Atucha

Signatura del documento	País	Título
A/AC.82/G/L.		
1655	Argentina	Doses from occupational exposure at the Comisión Nacional de Energía Atómica during 1977-1980
1656	Argentina	Determination of absorbed doses in a computerized tomography scanner
1657	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	Questions concerning the metabolism of carbon-14
1658	Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	Fallout in rainwater and airborne dust - levels in the UN during 1979
1659	Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	Radioactive fallout in air and rain: results to the end of 1980
1660	Japón	Radioactivity Survey Data in Japan Number 52, March 1980
1661	Japón	Radioactivity Survey Data in Japan Number 53, June 1980
1662	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	The formation of effective dose during chronic intake of various radionuclides in the body
1663	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	Isotopes of the uranium and thorium series in fertilizers containing phosphorus, arable soils and agricultural plants
1664	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	The combined effect on the body of ionizing and non-ionizing radiation and certain other factors
1665	Japón	Radioactivity Survey Data in Japan Number 54, September 1980
1666	Japón	Radioactivity Survey Data in Japan Number 55, December 1980
1667	Japón	Radioactivity Survey Data in Japan Number 56, March 1981
1668	Nueva Zelandia	Environmental Radioactivity Annual Report 1980

Signatura del documento	País	Título
-------------------------	------	--------

A/AC.82/G/L.

1669	Francia	Surveillance de la radioactivité en 1980
1670	Estados Unidos de América	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Report, EML-395, 1 November 1981
1671	Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	Environmental radioactivity surveillance programme: results for the UN for 1980
1672	Suiza	24th Report of the Federal Commission on Radioactivity for the year 1980

كيفية الحصول على منشورات الأمم المتحدة

يمكن الحصول على منشورات الأمم المتحدة من المكتبات ودور التوزيع في جميع أنحاء العالم . استعلم عنها من المكتبة التي تتعامل معها أو اكتب إلى : الأمم المتحدة ، قسم البيع في نيويورك أو في جنيف .

如何购取联合国出版物

联合国出版物在全世界各地的书店和经售处均有发售。请向书店询问或写信到纽约或日内瓦的联合国销售组。

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 libraire 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 вашем 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 diríjase a: Naciones Unidas, Sección de Ventas, Nueva York o Ginebra.
