



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

**ASAMBLEA GENERAL**

**DOCUMENTOS OFICIALES: TRIGESIMO SEGUNDO PERIODO DE SESIONES  
SUPLEMENTO No. 40 (A/32/40)**

**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 SEGUNDO PERIODO DE SESIONES  
SUPLEMENTO No. 40 (A/32/40)**

**NACIONES UNIDAS**

Nueva York, 1977

. 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.

Original: inglés  
5 de julio de 1977

INDICE

	<u>Párrafos</u>	<u>Página</u>
I. INTRODUCCION	1 - 8	3
II. EFECTOS DE LAS RADIACIONES	9 - 51	6
A. Aspectos generales	9 - 17	6
B. Efectos carcinogénicos de la radiación	18 - 28	9
C. Efectos de las radiaciones en el desarrollo prenatal	29 - 39	14
D. Efectos genéticos de las radiaciones	40 - 51	18
III. FUENTES DE RADIACION Y EXPOSICIONES A LAS RADIACIONES	52 - 106	23
A. Aspectos generales	52 - 56	23
1. Evaluaciones relacionadas con los individuos	54	24
2. Evaluaciones relacionadas con las fuentes	55 - 56	24
B. Causas de la exposición del ser humano a las radiaciones	57 - 106	25
1. Exposiciones normales a las fuentes de radiación natural	60 - 67	26
2. Exposiciones a fuentes naturales intensificadas por factores tecnológicos	68 - 74	29
3. Bienes de consumo emisores de radiaciones	75 - 79	31
4. Producción de energía mediante la fisión nuclear	80 - 89	33
5. Explosiones nucleares	90 - 94	39
6. Empleo de las radiaciones con fines médicos	95 - 101	40
7. Resumen de las dosis comprometidas mundiales debidas a las diversas fuentes de radiación	102 - 106	43

APENDICES

- I. Lista de especialistas científicos, miembros de delegaciones nacionales
- II. Lista de expertos y consultores científicos que han cooperado con el Comité en la preparación del informe
- III. Lista de informes recibidos por el Comité



## I. INTRODUCCION

1. La preparación del presente informe del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas<sup>1/</sup> tuvo lugar en los períodos de sesiones 23º a 26º del Comité. En el 23º período de sesiones, el Profesor L.R. Caldas (Brasil), el Profesor F.H. Sobels (Bélgica) y el Dr. C.B. Guzmán Acevedo (Perú) desempeñaron los cargos de Presidente, Vicepresidente y Relator, respectivamente. En los períodos de sesiones 24º y 25º, los cargos de Presidente, Vicepresidente y Relator fueron desempeñados por el Profesor F.H. Sobels (Bélgica), el Dr. M. Klínek (Checoslovaquia) y el Profesor Z. Jaworowski (Polonia), respectivamente; y en el 26º período de sesiones, el Dr. M. Klínek (Checoslovaquia), el Profesor F.E. Stieve (República Federal de Alemania) y el Dr. K. Sundaram (India) desempeñaron los mismos cargos, respectivamente.

2. Lo mismo que en el caso de anteriores informes sustantivos<sup>2/</sup>, la mayor parte de la labor del Comité se llevó a cabo en reuniones de grupos de científicos

---

1/ Las atribuciones del Comité Científico, que fue creado por la Asamblea General en su décimo período de sesiones, celebrado en 1955, se indican en la resolución 913 (X). Se componía originalmente de los siguientes Estados Miembros: Argentina, Australia, Bélgica, Brasil, Canadá, Checoslovaquia, Egipto, Estados Unidos de América, Francia, India, Japón, México, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, Suecia y Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas. Por resolución 3154 C (XXVIII), la Asamblea General decidió aumentar en cinco el número de miembros del Comité, y el Presidente de la Asamblea, en consulta con los presidentes de los grupos regionales, nombró miembros del mismo a los siguientes Estados Miembros: Alemania, República Federal de, Indonesia, Perú, Polonia y Sudán.

2/ Los informes sustantivos anteriores del Comité se encontrarán en Documentos Oficiales de la Asamblea General, decimotercer período de sesiones, Suplemento No. 17 (A/3838); ibid., decimoséptimo período de sesiones, Suplemento No. 16 (A/5216); ibid., decimonoveno período de sesiones, Suplemento No. 14 (A/5814); ibid., vigésimo primer período de sesiones, Suplemento No. 14 (A/6314), e ibid., vigésimo cuarto período de sesiones, Suplemento No. 13 (A/7613 y Corr.1). Se hará referencia a ellos como informes de 1958, 1962, 1964, 1966 y 1969, respectivamente. Véase también Ionizing Radiation: Levels and Effects, informe del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas a la Asamblea General y sus anexos, vols. I y II. (Publicación de las Naciones Unidas, No. de venta E.72.IX.17 y 18), al que se hará referencia como informe de 1972. Dicho informe, sin apéndices ni anexos, se publicó como Documentos Oficiales de la Asamblea General, vigésimo séptimo período de sesiones, Suplemento No. 25 (A/8725).

especialistas, quienes examinaron documentos de trabajo preparados por la Secretaría sobre la base de las peticiones del Comité. En el apéndice I infra, figuran los nombres de los especialistas que asistieron a uno o varios períodos de sesiones del Comité durante la preparación del informe en calidad de miembros de delegaciones nacionales.

3. El Comité contó con la ayuda de un pequeño grupo de personal científico y de consultores nombrados por el Secretario General. Si bien el Comité se hace plenamente responsable del informe, desea reconocer la ayuda prestada por las personas que se encargaron del examen y análisis preliminares de la información técnica recibida por el Comité o aparecida en publicaciones científicas, cuyos nombres figuran en el apéndice II.

4. En el apéndice III se enumeran los informes técnicos recibidos por el Comité entre el 18 de abril de 1972 y el 22 de abril de 1977 de Estados Miembros de las Naciones Unidas y miembros de los organismos especializados y del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), así como de estos mismos organismos. Los informes recibidos antes del 18 de abril de 1972 se enumeraron en informes anteriores del Comité a la Asamblea General. La información recibida oficialmente por el Comité se complementó con información procedente de las publicaciones científicas u obtenida de comunicaciones inéditas de diversos hombres de ciencia. El Comité desea expresar su reconocimiento por los datos que recibió en respuesta a su solicitud de información sobre irradiación por diversas fuentes radiactivas.

5. Asistieron a los períodos de sesiones 23.<sup>o</sup> a 26.<sup>o</sup> del Comité representantes del OIEA, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), así como de la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones (CIPR) y de la Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas (CIUR).

6. El Comité ha preparado planes para seguir examinando y evaluando los niveles de radiación a los que está, o puede llegar a estar, expuesta la población mundial, y para mejorar las evaluaciones de los riesgos que entraña la exposición a las radiaciones. Tales actividades pueden aportar una importante contribución al PNUMA y el Comité ha establecido una activa cooperación con el Programa en la preparación de documentos sobre criterios relativos a determinados radionucleidos.

7. El presente informe, lo mismo que los anteriores informes amplios, consta de un texto principal, en el que se esbozan las conclusiones a que se llegó en los debates del Comité, y de anexos científicos en los que se examina detalladamente la información científica disponible y los procedimientos analíticos en que se basan las conclusiones del Comité. Conforme a la práctica seguida en el informe de 1972, solamente se presenta a la Asamblea General el texto principal del presente informe. No obstante, se publica por separado<sup>3/</sup> el informe completo, con sus anexos científicos, y el Comité desea señalar a la atención de la **Asamblea que la separación del texto principal presentado y de sus anexos obedece únicamente a razones de comodidad, y que los análisis científicos expuestos en los anexos revisten la mayor importancia.**

8. En la sección siguiente (párrs. 9 a 51), el Comité resume los efectos biológicos de las radiaciones, y en la subsiguiente (párrs. 52 a 106) describe las exposiciones a las radiaciones recibidas de las diversas fuentes y prácticas, incluyendo ciertas conclusiones generales basadas en esta información.

---

<sup>3/</sup> Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta 77.IX.1.

## II. EFECTOS DE LAS RADIACIONES

### A. Aspectos generales

9. En los cinco años que han transcurrido desde que se publicó el último informe amplio del Comité<sup>4/</sup>, se ha hecho pública una considerable cantidad de información nueva, no solamente sobre la frecuencia con que la radiación ionizante puede inducir ciertos efectos nocivos, sino también sobre las magnitudes de las exposiciones a la radiación que corresponden a diversas circunstancias. Por consiguiente, ha resultado posible estimar con bastante más confianza que antes los tipos y las frecuencias de los efectos nocivos que probablemente se derivarán de diversos procedimientos, a consecuencia de la exposición a las radiaciones de las personas que en ellos intervienen.

10. Así pues, en el presente informe se tratan con cierto detalle los efectos más importantes de la radiación sobre el ser humano, prestándose especial atención a aquellos que pueden ser originados por dosis bajas de radiación y que pueden aparecer, o seguir apareciendo, bastante tiempo después de la exposición, en la persona irradiada (efectos somáticos) o en su prole (efectos genéticos). Respecto de ambas clases de efectos, el Comité ha examinado con detalle los datos de los que pueden derivarse estimaciones de la frecuencia con que tales efectos ocurrirán probablemente en el ser humano, por unidad de dosis de radiación. En el presente informe no se discuten los efectos de la irradiación intensa de todo el organismo.

11. Tanto por lo que respecta a los efectos somáticos como a los genéticos, es importante estimar la frecuencia probable de que tengan efectos perjudiciales las bajas dosis de radiación a que puede estar expuesta la población debido a la precipitación radiactiva de explosiones nucleares, al uso de bienes de consumo radiactivos, a muchos usos médicos de la radiación, y a las exposiciones a la radiación ambiental o a las exposiciones por razones profesionales que entraña la producción de energía por medios nucleares, así como las debidas a fuentes naturales y a actividades humanas que se traducen en una intensificación de la exposición a dichas fuentes naturales, según se comenta más adelante. No obstante, en la mayoría de los casos, los datos disponibles respecto de la frecuencia con que la radiación induce efectos nocivos sólo se han obtenido tras exposiciones a dosis de radiación considerablemente más elevadas.

---

<sup>4/</sup> Informe del Comité de 1972.

12. Por consiguiente, se presta especial atención a las incertidumbres que rodean a la deducción de la frecuencia de los efectos nocivos que cabe esperar a consecuencia de dosis bajas, a partir de los observados en la práctica a raíz de dosis más elevadas, y a la orientación que puede obtenerse al hacer esta deducción de la investigación del mecanismo por el cual produce efectos nocivos la radiación. Para estos fines, pueden resultar informativas las investigaciones de los efectos de la radiación sobre animales o, en algunos casos, sobre plantas y se han logrado considerables progresos en el análisis de los mecanismos por lo que la radiación causa daños en los sistemas biológicos y por los que se reparan esos daños.

13. Sin embargo, en general, la única base segura para hacer estimaciones cuantitativas de la frecuencia con que pueden producirse efectos nocivos en el ser humano debe depender de encuestas realizadas en poblaciones humanas que hayan estado expuestas a dosis de radiación conocidas, y en las cuales se hayan estudiado satisfactoriamente los efectos de tales irradiaciones.

14. Sin embargo, los riesgos de que haya defectos de desarrollo que acompañan a la irradiación prenatal, o los de defectos genéticos, no se pueden deducir, o deducir exclusivamente, de la información epidemiológica sobre seres humanos, y se debe recurrir a los resultados de experimentos con animales para estimar la frecuencia de tipos de defectos de desarrollo o genéticos radioinducidos. Respecto de los efectos somáticos que se desarrollan en los individuos irradiados, actualmente se dispone de varias de esas fuentes de información para estimar los riesgos de la exposición a la radiación, tanto del organismo entero como de muchos de sus órganos si son irradiados individualmente. En tales casos, las estimaciones de los riesgos correspondientes revisten considerable importancia, aunque su precisión no es muy grande y además corresponden a niveles de dosis superiores a los que probablemente se encontrarán en el medio de trabajo o en el medio ambiente en general. Para estos fines cuantitativos, los estudios epidemiológicos tienen más valor que las estimaciones de las frecuencias con que se inducen neoplasias experimentalmente en animales, ya que la frecuencia de un tipo de efecto somático determinado puede variar en distintas especies animales y, por lo tanto, puede tener un valor limitado como orientación respecto de la frecuencia que cabe esperar en el ser humano.

15. Además, los estudios epidemiológicos realizados en seres humanos sobre radioinducción de cáncer han abarcado poblaciones mucho más grandes, y han supuesto una evaluación de los tipos de efectos nocivos producidos mejor que la que ha resultado viable en la mayor parte de los estudios experimentales realizados con

animales. Así pues, en principio puede resultar posible detectar los efectos de dosis menores mediante estudios en poblaciones humanas, siempre que se cumplan cierto número de condiciones. Es menester evaluar cabalmente la frecuencia total de los efectos nocivos, extendiendo si fuera preciso las observaciones durante períodos de varios decenios en el caso de la mayor parte de los efectos somáticos, y compararla con su frecuencia en una población no irradiada pero análoga por todos los demás conceptos. Se debe conocer la exposición inicial a las radiaciones, y su tipo y distribución en el organismo deben ser pertinentes a la estimación del riesgo que se desee. Además, la frecuencia del efecto observado, en relación con la correspondiente en las poblaciones testigo, debe ser lo bastante elevada para que se pueda hacer una estimación estadísticamente válida del efecto de la radiación. Según se discute más adelante, la mayor parte de estas condiciones no se cumplen satisfactoriamente en varias encuestas sobre la frecuencia con que la radiación induce enfermedades neoplásicas en el ser humano.

16. En la mayor parte de los casos de daños que pueden ser inducidos por la radiación, la frecuencia con que es inducido el efecto varía con la cantidad de radiación absorbida en los tejidos orgánicos correspondientes. Todos los tipos de radiación "ionizante" a que se refiere el presente informe causan daños a consecuencia de la ionización que originan en los constituyentes químicos de los tejidos orgánicos, y de la energía liberada en importantes estructuras moleculares de los tejidos, especialmente el ácido desoxirribonucleico (ADN). Así pues, en gran medida, el efecto nocivo probable de una exposición dada a la radiación puede relacionarse con la energía impartida de esta manera por unidad de masa del tejido. La unidad de esta dosis absorbida de radiación ionizante recibe el nombre de "rad", correspondiendo un rad a la absorción de 0,01 julio de energía por kilogramo del tejido correspondiente.

17. Son aplicables a la mayor parte de los tipos de radiación de que trata el presente informe (por ejemplo, raxos X, radiación beta o gamma) las mismas relaciones entre la frecuencia probable de determinado tipo de efecto y la dosis absorbida en un tejido dado, independientemente de que la energía sea transmitida al tejido por fuentes de radiación externas al organismo o por sustancias radiactivas depositadas en los tejidos orgánicos. Sin embargo, en el caso de ciertos tipos de radiación, por ejemplo, los neutrones y la radiación alfa emitida por algunas sustancias radiactivas, la frecuencia probable de los efectos para una dosis absorbida dada es mayor -a menudo en un factor de 5 a 20- que la correspondiente a la misma dosis de otras formas, más corrientes, de radiación. Se cree que esto obedece a que la dosis es impartida en trayectorias cortas en el tejido, a lo

largo de las cuales hay una gran densidad de ionización. Cuando en el presente informe se hagan referencias a la frecuencia estimada de efectos por rad, se debe tener en cuenta que, si las estimaciones se refieren a neutrones o a partículas alfa, es probable que las frecuencias por rad correspondientes a otras formas de radiación sean inferiores en un factor considerable. En el informe se discute la magnitud de dicho factor, que es la eficacia biológica relativa (o EBR) de los neutrones o las partículas alfa en las condiciones particulares de la irradiación.

B. Efectos carcinogénicos de la radiación<sup>5/</sup>

18. Hoy resulta evidente que el efecto somático tardío más importante de la radiación a bajas dosis es la inducción ocasional de enfermedades neoplásicas, como lo demuestra la mayor frecuencia de las mismas en las poblaciones expuestas. Los extensos y cuidadosos estudios realizados con los supervivientes de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki, estudios que ya duran más de 30 años desde el momento de la irradiación, no han mostrado hasta ahora indicación alguna de un aumento de la tasa de mortalidad de las personas irradiadas que obedezca a otros factores patológicos que no sean las neoplasias. Por consiguiente, el Comité ha analizado toda la información disponible sobre los efectos carcinogénicos de la radiación que pueda servir de base para cálculos válidos. El término "carcinogénico" abarca en este texto la inducción de todas las formas de neoplasia, ya se trate de la leucemia o de los tipos de cáncer sólidos -o focales- que se desarrollan en los diferentes órganos o tejidos corporales.

19. **En el presente estudio se ha considerado de extrema importancia el examen de los resultados de los trabajos experimentales con animales, sobre los tipos de tumor inducidos por la radiación en diferentes especies y sobre la variación de la frecuencia de los tumores en función de la dosis absorbida de radiación en el órgano en el que se desarrollan dichos tumores.** En algunos estudios sobre los efectos de la radiación en el ser humano, es posible obtener ciertas indicaciones de la influencia que la magnitud de la dosis absorbida ejerce sobre la frecuencia de inducción de neoplasias. Sin embargo, los datos epidemiológicos humanos suelen ser demasiado limitados -tanto en lo que se refiere a la gama de exposiciones a la radiación como en la precisión de las estimaciones de la carcinogénesis resultante de cada dosis- para poder establecer claramente una formulación matemática de esta relación dosis-efecto. Por lo tanto, los estudios con animales tienen gran valor como guía para la determinación de las posibles variaciones de la frecuencia de

---

<sup>5/</sup> Esta cuestión se estudia en detalle en el **anexo G** (Carcinogénesis radioinducida en el hombre) y en el **anexo I** (La carcinogénesis en animales de experimentación).

inducción de cánceres en función de la dosis, en condiciones que permitan llegar a estimaciones fiables de las frecuencias a niveles de dosis diferentes y claramente definidos, y siempre que el tipo y las condiciones de la exposición a la radiación, así como el número y la casta o cepa de los animales expuestos, se puedan conocer y verificar con exactitud. En tales condiciones se encuentra, por lo común, que los tumores aparecen tras diversos intervalos de tiempo -que pueden extenderse a varios años- después de la exposición, y que el número total de tumores que finalmente se desarrollan varía de manera coherente en función de la magnitud de la dosis que ha recibido cada grupo de animales. En algunos casos, la frecuencia de carcinogénesis va aumentando con las dosis progresivamente mayores, hasta que éstas llegan a ser de unos centenares a unos millones de rad, y por encima de este nivel, al aumentar la dosis no aumenta, en estos casos, la frecuencia de carcinogénesis, e incluso es corriente que disminuya. Con dosis considerablemente más bajas que las que originan este máximo de tumores, y en la región de unas decenas de rad, la frecuencia de los mismos a veces resulta ser directamente proporcional a la magnitud de la dosis, pero lo más corriente es que la frecuencia por rad sea mayor a dosis altas que a dosis bajas.

20. Los estudios experimentales con animales han sido asimismo muy valiosos para establecer que el efecto carcinogénico por rad de radiación alfa o de neutrones es mayor que el de otros tipos de radiación, y para sugerir que la relación dosis-efecto tiene distinta forma en esos dos grupos de radiaciones. En el caso de la radiación alfa y los neutrones, que causan una densa ionización a lo largo de una trayectoria de poca longitud en los tejidos, la frecuencia de inducción de cánceres parece a menudo ser más estrictamente proporcional a la magnitud de la dosis que en el caso de otros tipos de radiación. Además, los estudios con animales han sido valiosos para evaluar la importancia de la tasa a la que se administra una dosis dada, o de la modalidad que revista su administración, bien sea en fracciones discretas o de manera continua.

21. En muchos casos también ha resultado más fácil hacer estudios sistemáticos con animales que con poblaciones humanas irradiadas sobre la influencia que ciertas variables biológicas puedan ejercer sobre la radiocarcinogénesis. Así, el sexo y la edad del animal en el momento de la irradiación, los efectos concomitantes de otros agentes carcinogénicos o las características genéticas de una casta pura de animales pueden tener importante influencia sobre la frecuencia de inducción de tumores a dosis dadas, pudiendo estudiarse adecuadamente tales variables mediante métodos experimentales.

22. Para evaluar riesgos, no sólo resulta necesario evaluar la frecuencia total de neoplasias que puede inducir una dosis dada de radiación a todo el organismo. En muchos casos, son irradiados selectivamente ciertos órganos o grupos de órganos, como sucede, por ejemplo, en irradiaciones con fines médicos o como consecuencia de la inhalación o ingestión de un nucleido radiactivo, que se concentre selectiva y exclusivamente en ciertos tejidos u órganos. Por consiguiente, es necesario asimismo evaluar la frecuencia con que se provocan transformaciones neoplásicas en cada uno de los diversos órganos y, cuando ello es posible, examinar y determinar la influencia de la edad, del sexo y de otros factores biológicos sobre la vulnerabilidad de los mismos.

23. Por esta razón, es importante que se hayan realizado diversas encuestas, y se las haya continuado durante prolongados períodos, sobre la frecuencia del desarrollo de diversos tipos de neoplasias en ciertas poblaciones humanas que han sufrido irradiación y sobre las diferencias por exceso de tal frecuencia respecto de la observada en otras poblaciones testigo que no han recibido irradiación. El más importante de esos estudios es el que tiene como objeto a los supervivientes de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki, en el cual se ha investigado detenidamente un numeroso grupo de esas personas tanto en lo que se refiere al desarrollo de neoplasias como a la mortalidad por cualquier enfermedad, incluidos los diferentes tipos de cáncer. Así, cabe realizar comparaciones entre los individuos sometidos a diversos niveles de exposición y los que no sufrieron irradiaciones significativas. Desde el punto de vista de la estimación de los riesgos, tal estudio presenta la considerable ventaja de basarse en una irradiación "de todo el cuerpo" sustancialmente uniforme de un gran número de personas de todas las edades, las cuales han sido objeto de estrecha observación durante casi 30 años. La irradiación en Hiroshima incluía una importante proporción de neutrones cuya eficacia biológica relativa a la de otras radiaciones es difícil de determinar, aunque de tales estudios pueden deducirse hoy cálculos aproximados del riesgo carcinogénico de irradiación de muchos órganos. También puede llegarse a conclusiones sobre el riesgo para un órgano -la glándula tiroides-, a base de los datos sobre la aparición de cánceres de dicha glándula en las poblaciones de dos islas del Pacífico expuestas a la irradiación y a la concentración de radioyodo en dicha glándula como consecuencia de la precipitación radiactiva resultante de un ensayo nuclear realizado en 1954. Cabe asimismo obtener

en diversos países amplia información sobre radioinducción de cáncer de pulmón a partir de los datos relativos al aumento de mortalidad por dicha enfermedad en los mineros de uranio, quienes, durante su trabajo, inhalan gases radiactivos. Sin embargo, en este caso, la irradiación pertinente es la de las partículas alfa, cuya eficacia biológica relativa aún no se conoce con certeza.

24. También pueden estimarse otros riesgos carcinogénicos a partir de los estudios realizados con grupos de pacientes que han recibido irradiaciones, ya sea durante el curso de repetidos exámenes radiológicos de diagnóstico o durante sesiones de radioterapia. En el primer grupo, los pacientes de tuberculosis pulmonar tratados con neumotórax han recibido en ocasiones importantes dosis de radiación en la región torácica como resultado de los exámenes necesarios para controlar el grado de colapso pulmonar; como consecuencia, se ha observado entre las pacientes un exceso de incidencia de cáncer de mama. Igualmente, en un número considerable de observaciones realizadas con posterioridad al tratamiento con rayos X se ha señalado una crecida incidencia de cánceres de la espina dorsal en casos de espondilitis anquilopoyética, de la pelvis en enfermas del útero, de la mama en patonegias de dichas glándulas, de la cabeza y de la región del cuello en casos de tinea capitis, infecciones de la faringe o supuestas hipertrofias del timo. En algunos casos se han administrado preparaciones de radio para tratar enfermedades de la espina dorsal o de otro tipo, o compuestos de torio como medio de contraste radiológico, habiendo ocasionado esas sustancias un aumento de la frecuencia de neoplasias en los tejidos irradiados. Se ha observado también que a la irradiación del feto durante exámenes radiológicos de la pelvis materna con fines diagnósticos ha seguido un aumento de las frecuencias de ciertas enfermedades neoplásicas durante la infancia.

25. A base de esos variados y extensos estudios ha sido posible deducir estimaciones aproximadas del riesgo de carcinogénesis radioinducida en un número considerable de tejidos importantes y excluir todo riesgo importante en otros casos. Se pueden obtener estimaciones razonablemente concordantes utilizando diferentes fuentes de información para ciertos órganos y tejidos, como la tiroides, la mama, el pulmón, el hueso y la médula ósea (en lo que se refiere a la inducción de leucemia). En otros tejidos y órganos, incluidos

el cerebro, las glándulas salivales, el estómago y otras partes del tracto gastrointestinal, la vejiga, los tejidos linfoides y, probablemente, el hígado, las estimaciones son más inciertas, debido frecuentemente a que el riesgo parece ser menor y, por consiguiente, más difícilmente observable o evaluable en estudios con seres humanos. En el caso de un tipo de leucemia (la linfática crónica), no se ha detectado en ningún estudio inducción alguna, y en lo que se refiere a las neoplasias del músculo, tejido adiposo, próstata y otros muchos tejidos, el riesgo debe ser muy pequeño, pues no se han observado indicaciones inequívocas de su existencia.

26. Parece, en general, que las tasas relativamente elevadas de radioinducción de cáncer corresponden a la mama y a la tiroides, aunque la tasa de mortalidad por cánceres de tiroides radioinducidos es baja. Las tasas de inducción de cáncer pulmonar y de leucemia son algo más bajas, y más aún las referentes a otros órganos respecto a los cuales se ha podido establecer estimaciones.

27. Con todo, al considerar los riesgos somáticos de la radiación, es necesario obtener una estimación del riesgo total de todas las neoplasias —y más especialmente de las mortales— resultantes de la irradiación a bajas dosis de todo el cuerpo. Dicha estimación no puede establecerse con confianza simplemente sumando los riesgos parciales de cada órgano, ya que algunos de ellos, y en particular los que presentan valores bajos, no se conocen con precisión. Sin embargo, varias fuentes de información indican que el riesgo total de todas las neoplasias mortales, en tanto que valor medio para ambos sexos y para todas las edades, será probablemente del orden de 5 veces el de la leucemia solamente, y que el valor correspondiente a ésta es aproximadamente  $2 \times 10^{-5} \text{ rad}^{-1}$  (esto es, 2 casos por cada 100.000 personas, por rad de dosis absorbida) en el caso de dosis relativamente moderadas de la mayoría de los tipos de radiación (es decir, de rayos X y radiación gamma, y no de neutrones ni partículas alfa) (véase el párr. 15). Por consiguiente, se considera que el riesgo medio de inducción de una neoplasia mortal es del orden de magnitud de  $10^{-4} \text{ rad}^{-1}$ , lo mismo, probablemente, que el de inducción de una neoplasia no mortal. Los riesgos estimados para los diversos órganos y tejidos parecen concordar con este total, lo que indica que no es probable que se haya omitido de estos cálculos ningún órgano con una elevada tasa de inducción. Debe recalcar, sin embargo, que tales estimaciones se deducen

predominantemente de tasas observadas a raíz de la recepción de dosis absorbidas superiores a 100 rad. Aunque no es probable que la tasa por rad debida a dosis de unos pocos rad sea mayor que este valor, podría ser considerablemente menor. En particular, a dosis bajas, en el campo de valores de las que se reciben anualmente de fuentes naturales, no se dispone de información directa respecto del posible nivel aplicable de inducción de neoplasias. Cuando los tejidos del organismo reciben "irradiación interna" de nucleidos radiactivos que se encuentran dentro del cuerpo, no se ha encontrado indicios de que las tasas de inducción de tumores sean distintas de las correspondientes a la radiación externa, una vez se tiene en cuenta la dosis absorbida en los tejidos debida a la radiación interna.

28. No pocos aspectos de esta cuestión necesitan todavía una investigación más a fondo, lo que se aplica particularmente a las variaciones del riesgo para muchos órganos en función de la edad y del sexo de la persona, y a la relación entre el riesgo resultante de bajas dosis y el deducido de dosis más elevadas. Sin embargo, con dosis superiores a 100 rad, el riesgo total de inducción de neoplasias y los riesgos medios para muchos órganos parecen quedar determinados con suficiente coherencia a partir de diversas fuentes y dar una orientación respecto de las precauciones de protección contra las radiaciones que deben adoptarse en profesiones que entrañan exposición a las mismas, con referencia a las cuales en secciones posteriores del presente informe se discuten las dosis recibidas.

### C. Efectos de las radiaciones en el desarrollo prenatal<sup>6/</sup>

29. Se ha comprobado repetidamente en experimentos con animales que la irradiación del embrión o del feto puede causar defectos cuya gravedad cubre una amplia gama. Algunos son tan profundos que causan la muerte del animal cuando está todavía dentro del útero. Otros provocan cambios estructurales que son detectables en el momento del nacimiento. Hay otros que sólo se manifiestan después del nacimiento como deficiencias funcionales. También se ha demostrado que los tipos de modificaciones producidas y la sensibilidad a la inducción de éstas difieren considerablemente en diferentes etapas del

---

<sup>6/</sup> Este tema se trata en detalle en el anexo J (Efectos de la irradiación in utero en el desarrollo del organismo).

desarrollo prenatal, y varían según que la irradiación ocurra antes de la implantación del producto de la concepción en la pared uterina, o durante la principal etapa de "organogénesis", cuando los órganos o tejidos corporales se están diferenciando en el embrión, o durante el crecimiento fetal ulterior.

30. Es también evidente que la irradiación prenatal en etapas correspondientes del desarrollo puede causar tipos similares de lesiones en el ser humano. Se dispone, sin embargo, de muy pocos datos sobre seres humanos como para basar en ellos algún cálculo cuantitativo de los riesgos de las radiaciones en estas etapas, y es evidente que los valores derivados de estudios en animales no pueden aplicarse directamente al ser humano. El Comité ha examinado, no obstante, los efectos producidos en cierto número de especies de mamíferos en varias etapas de desarrollo y ha tratado de correlacionarlos con los cambios observados en el ser humano en etapas correspondientes, cuando éstos eran conocidos. Así, pues, la presente sección del informe trata de los efectos causados por las radiaciones en el desarrollo del embrión o del feto.

En la sección D, dedicada a los efectos genéticos de las radiaciones, se examinarán los efectos que produce la irradiación de células germinales antes de la concepción, pero que se manifiestan durante el desarrollo posterior, y en los párrafos 18 a 28 se ha comentado la inducción de modificaciones malignas por irradiación del feto.

31. En el ratón, la rata, el hámster, el conejo y el perro se han observado los efectos de las radiaciones antes de la implantación del producto de la concepción en el útero. La irradiación en esta etapa puede causar la muerte del embrión y la no implantación, siendo las frecuencias variables en las diferentes especies. Los embriones que sobreviven a la exposición y quedan implantados parecerían, sin embargo, desarrollarse normalmente, habiendo pocos indicios de un aumento de letalidad intrauterina o de anomalías inducidas observables en el momento del nacimiento o posteriormente.

32. La irradiación posterior a la implantación y durante el período en que se están diferenciando las estructuras del organismo y se están desarrollando los órganos, produce en general tipos similares de malformaciones o lesiones en varias especies diferentes de mamíferos, si se los irradia en etapas comparables de desarrollo. De los informes recogidos sobre los casos, poco numerosos, de irradiación pélvica terapéutica de mujeres embarazadas, parece deducirse que se observarían los mismos efectos en los seres humanos si se los irradiara durante el período comprendido entre los 9 y los 40 días después de la concepción.

33. Estudios hechos con animales irradiados, principalmente ratas y ratones, aunque también se han hecho algunas observaciones en otras especies, muestran que pueden presentarse tres tipos principales de efectos. Las dosis relativamente altas, especialmente si se las administra a principios de este período, pueden causar la muerte del producto de la concepción en el útero o poco después del nacimiento; las dosis de 100 rad o más son las que producen el 50% de letalidad en estas condiciones. Por otra parte, estas dosis y otras más bajas pueden menoscabar el crecimiento del embrión, y este menoscabo del crecimiento normal puede persistir durante la vida postnatal. En tercer lugar, pueden producirse defectos de desarrollo más localizados que causan malformaciones particularmente en las estructuras del organismo o en las funciones metabólicas.

34. Los estudios hechos en animales muestran que las malformaciones del ojo, el cerebro y el sistema nervioso, o la cabeza, el esqueleto y las extremidades pueden ser resultados típicos de la irradiación durante el período de organogénesis, y que el tipo de malformación más probable depende en forma muy crítica del momento, dentro de este período, en que ocurre la exposición a la radiación. No se dispone de mucha información sobre la manera en que la frecuencia de cualquier malformación determinada, o de todas las malformaciones, varía con la dosis. Se ha observado, sin embargo, una creciente incidencia de algunas malformaciones cuando se han administrado dosis de sólo 5 rad en el ratón, y de 5 a 10 rad en la rata, en momentos apropiados para inducir estas malformaciones. A dosis absorbidas de 10 - 100 rad de radiación poco ionizante se pueden inducir varios tipos de malformaciones con una frecuencia individual de alrededor de  $10^{-3}$  rad<sup>-1</sup> o más, pero en general no hay datos suficientes para determinar cuáles puedan ser estas frecuencias a dosis más bajas.

35. Aunque es evidente que en el ser humano se producen malformaciones radio-inducidas, de tipos que dependen de la etapa de desarrollo en que tiene lugar la exposición, hay poca información relativa a su frecuencia probable, especialmente a dosis bajas. En su informe de 1969, el Comité estimó una incidencia posible de retraso mental, acompañado de cabeza de pequeño tamaño (microcefalia), en la región de los  $10^{-3}$  rad<sup>-1</sup> para dosis de más de 50 rad administradas a tasas de dosis altas. Datos recientes indican una creciente incidencia en Nagasaki de microcefalia y retraso mental en función de la

dosis, a raíz de exposiciones entre las 3 y las 17 semanas de la gestación. En Hiroshima, donde el componente neutrónico era considerablemente superior, se observó una incidencia comparable a dosis más bajas. Sin embargo, en diversos estudios sobre los efectos de la exposición embrionica durante procedimientos radiológicos, generalmente en la región de unos pocos rad, no se ha encontrado un incremento considerable de la incidencia de malformaciones.

36. En los animales, la irradiación durante la etapa fetal del desarrollo, así como en las etapas más tempranas de la vida intrauterina, puede causar la muerte del feto, el menoscabo del crecimiento o malformaciones. En esta etapa, sin embargo, disminuye progresivamente la probabilidad de muerte y se hace mucho menos probable la inducción de malformaciones, por lo menos en cuanto se refiere a los defectos de las principales estructuras anatómicas que ocasionan importantes incapacidades funcionales. Se siguen observando algunos defectos importantes, en particular después de dosis altas. Pero las malformaciones que se presentan a dosis bajas se limitan en su mayor parte a lesiones que se pueden determinar microscópicamente. El tamaño del cuerpo y el peso en el momento del nacimiento, sin embargo, suelen ser menores, por lo general, cuando ha habido irradiación durante esta etapa fetal del desarrollo.

37. El período fetal en el ser humano abarca las últimas 33 semanas de la gestación. Se ha visto que la irradiación durante este período está asociada con defectos en el crecimiento y con cierta mortalidad a niveles de dosis altas. La inducción de microcefalia puede ocurrir si las dosis son elevadas, pero la probabilidad de que se induzcan malformaciones en este período es menor que durante la organogénesis, aunque se ha observado que se puede inducir la heterocromía (coloración irregular del iris) mediante exposición radiológica diagnóstica en el cuarto y quinto mes de gestación.

38. En niños japoneses que estuvieron expuestos a radiaciones in utero, a consecuencia de las explosiones de bombas atómicas en Hiroshima y Nagasaki y a dosis superiores a 50 rad, se observó claramente a los 17 años de edad una reducción del tamaño corporal.

39. A partir de los estudios experimentales hechos con animales, cabe concluir que el embrión o el feto en desarrollo exhiben una marcada sensibilidad a la

radioinducción de malformaciones, particularmente durante las principales etapas de la organogénesis. Las reacciones de diversas especies siguen pautas tan similares, que no cabe suponer que el ser humano sea una excepción a este respecto. Sin embargo, todavía no se cuenta con datos satisfactorios para hacer un cálculo fidedigno de los riesgos para el ser humano de la irradiación prenatal en fases comparables del desarrollo, especialmente a dosis y tasas de dosis bajas. El Comité recalca, por lo tanto, la importancia de continuar los estudios sobre unos cuantos aspectos particulares de este tema.

#### D. Efectos genéticos de las radiaciones<sup>7/</sup>

40. Si se exponen células a las radiaciones ionizantes, los cromosomas de sus núcleos pueden ser dañados por la producción de mutaciones genéticas, que entrañan alteraciones de las unidades fundamentales de la herencia que se localizan en los cromosomas, o por la inducción de aberraciones cromosómicas consistentes en modificaciones de la estructura o del número de los cromosomas. Cuando estos cambios se inducen en las células germinativas, pueden ser transmitidos a los descendientes de las personas irradiadas. Las mutaciones genéticas y las aberraciones cromosómicas que se producen espontáneamente en el hombre son causa de muchos sufrimientos, pues a ellas se debe una proporción importante del total de abortos espontáneos y de malformaciones congénitas que causan defectos mentales y físicos. Por lo tanto, es importante estimar la medida en que la exposición a las radiaciones puede aumentar la frecuencia de estos efectos genéticos. El Comité ha pasado revista a las estimaciones de frecuencias que pueden obtenerse con respecto a diferentes tipos de mutaciones genéticas y de aberraciones cromosómicas, sobre todo en cuanto que sean aplicables a las dos etapas de las células germinativas que son de conocida importancia fundamental. Son estas los espermatogonios y los oocitos, los cuales constituyen las poblaciones permanentes de células germinativas en machos y hembras, respectivamente.

41. Por razones de conveniencia, se divide a las mutaciones genéticas en dominantes o recesivas, según la medida en que el efecto de la mutación se manifieste en un descendiente que haya heredado de uno sólo de sus progenitores el gen que ha experimentado la mutación. Una mutación totalmente

---

<sup>7/</sup> Este tema se trata en detalle en el **anexo H** (Efectos genéticos de las radiaciones).

dominante tiene el máximo efecto en el descendiente, aún en el caso de ser transmitida por un solo progenitor. Una mutación totalmente recesiva carece de efecto en el descendiente a menos que éste haya recibido de ambos progenitores genes con la misma anomalía (o a menos que se reciba en el cromosoma X). Los efectos de muchas mutaciones en el ser humano y en mamíferos experimentales son intermedios entre los de las totalmente dominantes y los de las totalmente recesivas.

42. Las aberraciones cromosómicas son de dos tipos: a) las aberraciones estructurales que provienen de la ruptura y soldadura de cromosomas, las cuales pueden entrañar reducciones (deleciones) o aumentos (duplicaciones) del número de ciertos genes de un cromosoma o cambios en la secuencia o disposición de los genes (inversiones o translocaciones); y b) aberraciones numéricas, que entrañan un exceso o una pérdida de cromosomas.

43. El Comité ha pasado revista detallada a los trabajos recientes sobre los procesos por los cuales producen daños al ADN las radiaciones y se reparan dichos daños, puesto que es evidente que los efectos genéticos de las radiaciones probablemente obedecen ante todo al daño inducido en esta estructura molecular.

44. Para estimar los riesgos genéticos de las radiaciones, especialmente a dosis bajas, se cuenta con muy escasa información cuantitativa que provenga de la observación de los efectos de la irradiación del ser humano. Por lo tanto, estas estimaciones deben basarse en gran medida en los efectos que se observan en los estudios efectuados con animales, y en especial con el ratón, sujeto experimental en que han sido investigados intensivamente los efectos genéticos de las radiaciones. Al utilizar estos datos, debe aceptarse la hipótesis de que, en condiciones determinadas, la magnitud del daño genético inducido por las radiaciones es la misma en las células germinativas del ratón y en las del hombre, y es afectada de manera similar y en similar medida por las variables físicas y biológicas. En algunos casos, estas hipótesis pueden ser verificadas mediante datos obtenidos en el hombre o en otros primates.

45. En el presente informe se han utilizado dos métodos para estimar el riesgo genético de la irradiación del ser humano. Según el método "directo", los riesgos se expresan en términos de las frecuencias que cabe esperar de

diversos tipos de cambios genéticos inducidos por unidad de dosis. Según el método de la "dosis de duplicación", se efectúan estimaciones de las dosis de radiación que duplican las frecuencias naturales de diversos tipos de anomalías genéticas. Entonces, a partir de las frecuencias naturales conocidas de las diversas formas de anomalías genéticas en el hombre y de la cifra que se toma como dosis de duplicación, se realiza la estimación, sobre una base proporcional, del efecto que cabe esperar de una dosis determinada.

46. Con el método "directo" se estima la tasa total de inducción de mutaciones recesivas en  $60 \times 10^{-6}$  por gameto por rad. La cifra se deduce de la tasa de inducción de mutaciones recesivas letales autosómicas en los espermatogonios de ratón por irradiación a altas tasas de dosis, efectuándose las correcciones que corresponden por mutaciones que probablemente no han sido detectadas y por las condiciones de irradiación que son aplicables al ser humano. Para evaluar el riesgo en la primera generación de descendientes de los progenitores irradiados, lo que reviste importancia es la medida en que estas mutaciones son dominantes.

47. De la tasa de inducción de mutaciones que causan anomalías esqueléticas en el ratón y que han sido minuciosamente estudiadas se puede deducir una estimación global del riesgo de inducción de mutaciones con efectos dominantes (que incluyen a las recesivas con carácter dominante parcial, según se menciona en el párrafo 46, además de las dominantes visibles). Se ha utilizado la tasa de mutaciones esqueléticas del ratón para estimar la tasa de inducción de dominantes que afectan a todos los sistemas del organismo humano. Mediante un estudio de la naturaleza de los efectos en el esqueleto ha resultado posible evaluar la proporción de estas mutaciones que causarían impedimentos graves en el ser humano. La estimación global así obtenida es  $20 \times 10^{-6} \text{ rad}^{-1}$  en el caso de la irradiación de machos. En el de irradiación de hembras a dosis y tasas de dosis bajas, se supone que el riesgo de que haya mutación es bajo, siempre que el ovario humano reaccione a la radiación lo mismo que el del ratón.

48. Para estimar el riesgo de inducción de aberraciones cromosómicas por el método directo, se cuenta con algunos datos provenientes de observaciones en el hombre y también en ciertas especies de primates. Los datos provenientes de los primates son bastante variables pero los que indican el riesgo más alto (correspondientes al títí y no al mono Rhesus) han sido utilizados conjuntamente

con los provenientes del hombre. Sobre esta base, se considera que por millón de conceptos y por rad de irradiación del padre, el riesgo que acompaña a la inducción de translocaciones recíprocas es el nacimiento de entre 2 y 10 niños vivos con malformaciones congénitas, produciéndose aproximadamente 5 veces esta cifra de abortos reconocibles y aproximadamente 10 veces el mismo número de pérdidas en etapa embrionaria precoz. Es probable que sea bajo el riesgo correspondiente a la irradiación de la madre, así como el que corresponde a otras aberraciones estructurales y a la pérdida de cromosomas sexuales, mientras que el que corresponde a la adquisición de cromosomas no puede estimarse cuantitativamente en la actualidad. Los métodos directos sugieren, pues, que, en la primera generación de descendientes de progenitores irradiados con 1 rad, es probable que el riesgo genético sea del orden de 20 a 30 casos graves por millón de nacidos vivos (20 por mutaciones con efectos dominantes y 2 a 10 por aberraciones cromosómicas estructurales). Esta estimación no incluye el riesgo de inducción de anormalidades cromosómicas numéricas, para el cual no se dispone aún de cifras fidedignas.

49. El método de la dosis de duplicación se apoya en la hipótesis de que, para cada tipo de defecto genético, la tasa de mutación inducida por las radiaciones es proporcional a la tasa con que se origina espontáneamente. Se ha observado en el ratón que la dosis que se requiere para duplicar la frecuencia natural de diversas formas diferentes de anormalidades genéticas es aproximadamente de la misma magnitud para cada una de ellas, y que puede establecerse en unos 100 rad para el caso de las radiaciones tales como los rayos X, las partículas beta o los rayos gamma administrados a tasas de dosis bajas. En este sentido es importante el hecho de que los datos sobre mortalidad que corresponden a los descendientes de los supervivientes de las explosiones atómicas de Hiroshima y Nagasaki indican que, en el caso del ser humano, no es probable que la dosis de duplicación sea inferior a esta cifra, tanto para varones como para mujeres. Es poco probable, pues, que el aumento por rad de enfermedades de origen genético supere al 1% de las tasas naturales correspondientes.

50. Mediante este método, el Comité estima que, entre un millón de niños nacidos vivos en la primera generación de descendientes de una población expuesta en el tiempo de la generación a una irradiación de 1 rad a una tasa

de dosis baja, se presentarían 20 casos de enfermedades dominantes ligadas al cromosoma X, 38 casos de enfermedades de origen cromosómico y 5 casos de enfermedades de etiología compleja, todos inducidos por las radiaciones. El daño genético total que se manifiesta en todas las generaciones (o la cifra que se alcanza en cada generación tras irradiación continua prolongada) se estima mediante el método de la dosis de duplicación en  $185 \times 10^{-6} \text{ rad}^{-1}$ .

51. Los tipos comentados de daño genético y las estimaciones del riesgo obtenidas no reflejan plenamente el tipo de acontecimiento mutacional que causa efectos deletéreos de poca importancia y que, en razón de su gran número, pueden significar para la población una tara genética total mayor que la resultante de un número menor de estados relativamente más graves.

### III. FUENTES DE RADIACION Y EXPOSICIONES A LAS RADIACIONES

#### A. Aspectos generales<sup>8/</sup>

52. El Comité ha compilado y evaluado datos sobre la exposición del ser humano a las radiaciones por dos motivos principales. El primero consiste en presentar datos sobre exposiciones individuales que indicarían los posibles niveles de riesgo a que está expuesta la persona en diversas circunstancias. El segundo motivo consiste en presentar datos que podrían utilizarse para indicar las consecuencias totales, en cuanto a efectos nocivos, que producen determinadas fuentes de radiación. Los dos tipos de evaluación, la relacionada con el individuo y la relacionada con las fuentes, sirven, pues, propósitos diferentes.

53. La magnitud básica en todas las evaluaciones es la dosis absorbida, que en el caso de ciertos tipos de radiación debe ser ponderada para tener en cuenta su mayor eficacia biológica (párr. 17). En el presente informe, la expresión "dosis", se refiere a la dosis absorbida media en todo un órgano o tejido, a menos que se indique otra cosa. Al presentar datos sobre dosis en las evaluaciones relacionadas con los individuos, siempre se indica el período de tiempo durante el que se acumula la dosis, en tanto que, cuando se trata de evaluaciones relacionadas con las fuentes, el período en que se administra la dosis reviste menos importancia.

---

<sup>8/</sup> Los conceptos utilizados en la evaluación de las exposiciones a la radiación se tratan con detalle en el anexo A (Conceptos y magnitudes para la evaluación de la exposición del hombre a las radiaciones).

## 1. Evaluaciones relacionadas con los individuos

54. Según sea el propósito de la evaluación, el período de tiempo con que se relaciona la dosis individual puede ser un año, toda la vida, el tiempo limitado de una sola irradiación o cualquier otro período pertinente. Las prácticas continuas dan lugar inevitablemente a una acumulación de radiactividad en el cuerpo humano o en el medio ambiente, hasta que se llega a una situación de estado estacionario o de equilibrio. Esto es lo que ocurriría, por ejemplo, si la práctica tuviera como consecuencia liberaciones de radionucleidos de período largo que permanecieran durante mucho tiempo en el medio ambiente. En tales situaciones, se evalúa la "dosis comprometida" correspondiente, por ejemplo, a un año de práctica como la suma de las dosis anuales futuras de los individuos. Esta suma también es aplicable a un individuo medio y, en el caso general, se extiende a generaciones futuras. Se puede demostrar que, al alcanzar la dosis anual su valor máximo en el futuro, éste no será mayor que la dosis comprometida correspondiente a un año de práctica. Las dosis comprometidas a diversas poblaciones, como los grupos de individuos más expuestos, o la población mundial entera, se evalúan para tener en cuenta las futuras contribuciones a la dosis que las poblaciones humanas recibirían inevitablemente a causa de las prácticas actuales y que darían lugar a dosis anuales más elevadas que las actuales si tales prácticas continuaran.

## 2. Evaluaciones relacionadas con las fuentes

55. En el caso de las evaluaciones relacionadas con las fuentes, es necesario deducir una magnitud que guarde relación con el detrimento debido a la práctica. Si se supone que hay proporcionalidad entre la dosis de radiación y el riesgo individual dentro del intervalo de dosis considerado, la "dosis colectiva" es una magnitud proporcional al detrimento debido a la radiación. La dosis colectiva es el producto del número de personas de la población expuesta y su dosis media. Si el propósito consiste en evaluar el detrimento total que origina una práctica dada, es menester incluir en la evaluación a todos los individuos, es decir, se debe calcular la dosis colectiva mundial. Para evaluar el detrimento total también deben incluirse las futuras contribuciones de dosis a que la práctica daría lugar inevitablemente. Por lo tanto, se han calculado "dosis comprometidas colectivas" considerándolas como la suma de las dosis colectivas mundiales anuales durante todos los años venideros. La dosis comprometida colectiva siempre se refiere a una práctica limitada, la liberación de cierta cantidad de una sustancia radiactiva en el medio ambiente, la producción de cierta cantidad de energía eléctrica o el resultado de una sola decisión.

56. Pueden utilizarse los valores de la dosis comprometida colectiva para evaluar el detrimento de la radiación, siempre que se conozca dicho detrimento por unidad de dosis colectiva (rad-hombre). Incluso si no se cumple esta condición, pueden compararse las dosis colectivas debidas a diversas prácticas con miras a evaluar detrimentos relativos. Esto podría proporcionar un dato útil para adoptar decisiones en las que intervenga la relación costo-eficacia respecto de diversas aplicaciones posibles de medidas de protección contra las radiaciones, partiendo del supuesto que la probabilidad de daño es proporcional a la dosis.

#### B. Causas de la exposición del ser humano a las radiaciones

57. En informes anteriores del Comité, se han presentado por separado datos relativos a la exposición del ser humano a las radiaciones para diversas clases de irradiación, como irradiación profesional, irradiación de enfermos con fines médicos, irradiación debida a la contaminación del medio ambiente e irradiaciones diversas. En los anexos científicos al presente informe se ha seguido fundamentalmente el mismo procedimiento<sup>2/</sup>. Sin embargo, en los párrafos siguientes se pasa revista a cierto número de fuentes y prácticas en relación con las exposiciones totales resultantes, incluidas todas las contribuciones, tanto si son profesionales como ambientales, con objeto de suministrar datos para evaluaciones relacionadas con las fuentes.

58. La exposición a las radiaciones de origen natural es consecuencia de la irradiación terrestre y cósmica, y varía un tanto con la situación geográfica, debido fundamentalmente a las diferencias de altitud y de distribución de los radionucleidos en el medio terrestre. A fines de ilustración, en el presente informe se expresa a veces la dosis comprometida colectiva debida a otras fuentes de radiaciones como la duración equivalente de la exposición a fuentes naturales que daría lugar a la misma dosis comprometida colectiva mundial (véase el cuadro 3).

---

<sup>2/</sup> Sobre estas y otras irradiaciones se ofrece información más detallada en los anexos pertinentes del presente informe: **anexo B** (Fuentes naturales de radiación), **anexo C** (Contaminación radiactiva debida a explosiones nucleares), **anexo D** (Contaminación radiactiva debida a la producción de energía nuclear), **anexo E** (Dosis debidas a irradiación profesional) y **anexo F** (Irradiación con fines médicos).

59. La exposición a la radiación natural puede ser intensificada por actividades humanas, por ejemplo los vuelos a grandes altitudes, la construcción de edificios con materiales que contengan mucho radio, la reducción de la tasa de ventilación en las viviendas, y la perforación de pozos profundos para extraer aguas ricas en radón. Las exposiciones intensificadas a fuentes naturales también son variables, y oscilan entre pequeños incrementos y aumentos de varios órdenes de magnitud. Tales exposiciones intensificadas pueden muy bien ser objeto de evaluaciones relativas a las fuentes cuando son consecuencia de decisiones humanas con las cuales se puede relacionar una dosis comprometida colectiva como medida del detrimento consiguiente. Entre otras fuentes o prácticas respecto de las cuales da el Comité estimaciones de exposiciones figuran los usos de la radiación con fines médicos (en los que se incluye la irradiación de pacientes y otras irradiaciones), la producción de energía eléctrica por fisión nuclear, las exposiciones nucleares y los bienes de consumo que emiten radiaciones.

1. Exposiciones normales a las fuentes de radiación natural<sup>10/</sup>

60. El ser humano siempre ha estado expuesto a radiaciones ionizantes procedentes de diversas fuentes naturales. Una de las características que distinguen a esta irradiación natural es que afecta a toda la población del globo, y que se ha experimentado a una tasa relativamente constante durante un período muy largo. Por otra parte, incluso la irradiación natural normal varía considerablemente de un lugar a otro, y hasta en un mismo lugar, por ejemplo dentro de un edificio.

61. La evaluación de las dosis de radiación administradas al ser humano por las fuentes naturales reviste especial importancia porque la irradiación natural aporta la máxima contribución a la dosis colectiva de la población mundial. Además, tiene interés práctico conocer el grado de variación de la irradiación natural con la ubicación y las costumbres.

---

<sup>10/</sup> Este tema se trata con detalle en el **anexo B** (Fuentes naturales de radiación).

62. Las fuentes naturales de radiación comprenden fuentes externas como los rayos cósmicos y las sustancias radiactivas del suelo y de los materiales de construcción, y fuentes internas, que son sustancias radiactivas naturales que se encuentran en el organismo humano, particularmente el potasio-40.

63. En el cuadro 1 infra se resume la contribución media de las fuentes naturales a la irradiación de poblaciones humanas que viven en zonas con un nivel normal de radiación de fondo. Se ha evaluado la dosis anual per cápita a cuatro tejidos: las gónadas, el pulmón entero, las células que revisten las superficies óseas y la médula ósea roja, incluyéndose las aportaciones de todos los tipos de radiaciones. En estos tejidos, se estima que la dosis anual debida a la irradiación normal por fuentes naturales es del orden de 100 mrad (1 mrad = 0,001 rad). A efectos de comparación, en el cuadro 1 se dan, entre paréntesis, las estimaciones del informe de 1972. Las nuevas estimaciones son inferiores en un pequeño porcentaje a las anteriores por lo que respecta a las gónadas y las células que revisten las superficies óseas, y superiores en un pequeño porcentaje para la médula ósea roja. La diferencia obedece principalmente a que se conocen mejor las dosis debidas a la radiación "terrestre" (que aquí se considera incluye a la radiación gamma del suelo y a las de los materiales de construcción), cuya estimación actual es inferior en un 30% aproximadamente a la que se dio en el informe de 1972. El aumento de la estimación de la dosis a la médula ósea roja obedece a una estimación más alta de la contribución del potasio-40.

64. A consecuencia de la inhalación de radón-222 y sus productos de desintegración, la dosis a todo el pulmón -que el Comité evalúa ahora por primera vez- es superior a la recibida por los demás tejidos en un 20 a un 45%. Además, una fracción considerable (31%) de dicha dosis es administrada por partículas alfa, que, según se supone, tienen una mayor eficacia biológica relativa que las radiaciones beta y gamma, las cuales originan más del 90% de la dosis en los demás tejidos. Se puede mencionar que las células epiteliales del árbol traqueo-bronquial reciben una dosis anual del orden de 200 mrad, debida principalmente a partículas alfa.

65. La variabilidad de las dosis individuales debidas al potasio-40 en el organismo es pequeña. Sin embargo, las dosis individuales al pulmón exhiben variaciones bastante grandes a causa de las concentraciones variables de radón

y sus productos de desintegración en el aire dentro de edificios. La variación normal de las contribuciones a las dosis procedentes de estas fuentes oscila entre 4 y 400 mrad al año.

Cuadro 1

Dosis anuales per cápita debidas a la exposición normal a fuentes naturales de radiación  
(mrad)<sup>a/</sup>

	Gónadas	Todo el pulmón	Células de revestimiento de los huesos	Médula ósea roja
<u>Irradiación externa</u>				
Rayos cósmicos	28 (28)	28	28 (28)	28 (28)
Radiación terrestre	32 (44)	32	32 (44)	32 (44)
<u>Irradiación interna</u>				
Potasio-40	15 (19)	17	15 (15)	27 (15)
Radón-222 (con descendientes)	0,2 (0,07)	30	0,3 (0,08)	0,3 (0,08)
Otros nucleidos	2 (1,4)	5,5	9,1 (4,3)	4 (1,9)
<b>Total</b>	<b>78 (93)</b>	<b>110</b>	<b>84 (92)</b>	<b>92 (89)</b>

<sup>a/</sup> Las cifras entre paréntesis se refieren a las estimaciones dadas en el informe de 1972. Todos los valores y las sumas totales se han redondeado a dos cifras significativas.

66. Las poblaciones que viven a grandes alturas o en regiones de intensa radiación natural reciben dosis externas muy superiores. Algunos grupos de población también están expuestos a elevadas dosis internas. Tales grupos son, por ejemplo, los que se alimentan de carne de caribú o de reno en las regiones septentrionales, o los que viven en casas con mala ventilación, como puede ocurrir en zonas de clima frío. La tasa de ventilación determina la concentración media del radón en el aire dentro de los edificios para una tasa de emanación dada (del material de construcción, del sótano, o del agua de grifo con elevada concentración de radón).

67. Al hacer evaluaciones del riesgo relativo, la exposición total debida a una práctica de duración limitada que entrañe irradiación (párr. 55) se puede expresar en términos de la duración de aquella irradiación, a tasa constante, de una población especificada, de la que cabría suponer que produjera el mismo detrimento. Esta comparación resulta especialmente ilustrativa si la práctica da lugar a una exposición relativamente uniforme y se hace referencia a la duración equivalente de la irradiación de la población mundial por fuentes naturales de radiación. Por consiguiente, lo mismo que en informes anteriores, el Comité ha indicado las duraciones equivalentes de la exposición a fuentes naturales que originarían las mismas dosis comprometidas colectivas que las prácticas discutidas en el presente informe. La dosis colectiva anual que administran las fuentes naturales a la población mundial es del orden de  $3 \times 10^8$  rad-hombre a la mayor parte de los tejidos orgánicos, pero es mayor en un 30% aproximadamente en el caso del pulmón entero.

2. Exposiciones a fuentes naturales intensificadas por factores tecnológicos<sup>11/</sup>

68. Hay situaciones en las que la exposición a fuentes naturales de radiación queda intensificada a consecuencia de adelantos tecnológicos. Pueden citarse como ejemplos la irradiación por rayos cósmicos en aviones, la resultante de la industria de los fosfatos o la debida a la liberación de radionucleidos naturales de centrales eléctricas alimentadas con carbón.

69. Materiales de construcción. El empleo de ciertos materiales de construcción se traduce en niveles de irradiación bastante elevados dentro de los edificios. Estos materiales de construcción pueden ser de origen natural, como ocurre con la piedra pómez, el granito, o el hormigón ligero derivado de esquistos alúmbricos. También pueden haberse fabricado con subproductos de procesos industriales, como la escoria o el fosfoyeso. Si en la industria de la construcción se utilizara todo el fosfoyeso derivado de una tonelada de mineral fosfático comercializable, la dosis comprometida colectiva resultante

---

<sup>11/</sup> Este tema se trata con detalle en el **anexo B** (Fuentes naturales de radiación).

podría ser del orden de unos cuantos rad-hombre por tonelada de roca. Las tasas de dosis en el aire debidas a radiación gamma en edificios construidos con tales materiales pueden ser considerablemente mayores que la tasa de dosis normal media debida a la radiación terrestre. Para una tasa de ventilación determinada, los niveles de radón también serán considerablemente mayores.

70. Poca ventilación. Los cambios en la ventilación de un cuarto mal ventilado influyen considerablemente sobre el nivel de radón en el mismo. La ventilación de las casas varía en los distintos países, en función del clima, los sistemas de calefacción y las normas de construcción. En muchos países no es raro que el aire se renueve de dos a cinco veces por hora. En cambio, en países de clima frío, la tasa de ventilación puede tener a veces valores tan bajos como 0,1 a 0,2 renovaciones por hora, lo cual podría traducirse en dosis anuales de varios rad de partículas alfa al pulmón. El radón del agua irradia los tejidos no sólo por ingestión de ésta sino también por inhalación del que se desprende de la misma. Cuando la concentración de radón del agua de grifo es grande, la dosis al pulmón por inhalación dentro de edificios es mayor que la dosis al estómago resultante de la ingestión de cantidades normales de agua.

71. Pasajeros de aviones. Cada año se efectúan viajes aéreos por un total de unas  $10^9$  horas-pasajero. En condiciones solares medias, la dosis colectiva anual que aportan los viajes aéreos es de  $3 \times 10^5$  rad-hombre aproximadamente. El riesgo de recibir elevadas tasas de dosis de radiación cósmica a grandes altitudes a consecuencia de grandes erupciones solares ha obligado a dotar a los aviones supersónicos de monitores de radiación que avisan al piloto cuando se está produciendo una erupción solar. En tal caso se hace descender al avión a altitudes más bajas si la tasa de dosis alcanza un nivel prefijado. La existencia de altos niveles de radiación a elevadas altitudes durante erupciones solares es un fenómeno poco frecuente que no contribuye de manera significativa a la dosis colectiva a la población mundial.

72. Consumo de fertilizantes fosfatados. Los yacimientos de minerales fosfatados suelen contener concentraciones relativamente elevadas de nucleidos radiactivos de la serie de desintegración del uranio-238. Se extraen cantidades muy grandes de roca fosfatada. Parte del material se convierte en fertilizantes y parte se elimina como desecho. Ambas prácticas pueden conducir

a la irradiación de la población. Además, uno de los subproductos es el yeso químico o fosfoyeso, que se puede utilizar como material de construcción y es, por esa razón, una fuente de radiación de especial interés. La evaluación de la dosis comprometida colectiva por tonelada de roca comercializable muestra que la contribución que aportan los fertilizantes fosfatados es pequeña -del orden de  $3 \times 10^{-4}$  rad-hombre por tonelada de fertilizante. Si se supone un consumo anual mundial de  $10^8$  toneladas de fertilizantes fosfatados, la dosis comprometida colectiva debida al uso de los mismos durante un año es del orden de  $3 \times 10^4$  rad-hombre.

73. Centrales eléctricas alimentadas por carbón. La combustión del carbón es una fuente intensificada de irradiación por elementos de origen natural, particularmente radio, torio y uranio. Se han medido en carbones de diversas procedencias, así como en escorias y cenizas, las concentraciones de los radionucleidos importantes. El Comité ha evaluado la dosis comprometida colectiva por megavatio-año de energía eléctrica producida, debida al depósito de cenizas volantes, pero ha llegado a la conclusión de que se trata de una contribución pequeña, del orden de 0,002 a 0,02 rad-hombre por MW(e)a a los diversos tejidos orgánicos, debido a las sustancias descargadas depositadas sobre el suelo, y también de 0,002 a 0,02 rad-hombre por MW(e)a debido a las sustancias inhaladas.

74. Usos del gas natural. El gas natural que se emplea en cocinas y calentadores es una fuente de radón dentro de los edificios. **El radón, que se produce en el suelo, se difunde de las formaciones geológicas a los pozos de gas natural.** Sin embargo, se considera que esta fuente de radón es insignificante en comparación con las demás.

3. Bienes de consumo emisores de radiaciones<sup>12/</sup>

75. Varios bienes de consumo contienen radionucleidos que se han agregado intencionalmente con un fin concreto. Además, algunos productos electrónicos,

---

<sup>12/</sup> Este tema se trata con detalle en el apéndice del capítulo IV del anexo B y en el anexo E (Dosis debidas a irradiación profesional.)

como los receptores de televisión, pueden emitir rayos X. Los bienes de consumo más corrientes que emiten radiaciones son los relojes y las brújulas radioluminiscentes, las señales luminosas, detectores de humo, aparatos para eliminar la carga eléctrica estática y receptores de televisión. La medida en que las reglamentaciones nacionales permiten la irradiación debida a estos productos varía de un país a otro. Los radionucleidos utilizados con más frecuencia en bienes de consumo son el tritio, el criptón-85 y el prometio-147, cuyo uso entraña cantidades insignificantes de radiación penetrante.

76. Hasta los años 60, el radio-226 era el nucleido más corriente en las pinturas radioluminiscentes, y por lo tanto en relojes y despertadores. La persona que lleva un reloj corriente de pulsera activado por radio recibe una dosis a las gónadas de unos pocos mrad anuales. Aunque esta irradiación externa se ha eliminado actualmente por emplearse tritio con los mismos fines, los relojes pueden tener fugas de tritio y causar irradiación interna, que se traduzca en una dosis a todo el organismo de unos 0,5 mrad anuales. El uso actual de pintura radioluminiscente en la industria de la relojería puede traducirse en una dosis colectiva a la población mundial del orden de  $10^6$  rad-hombre al año. También da lugar a irradiación profesional.

77. Los trabajadores que manejan pinturas luminosas siempre han figurado entre los grupos profesionales que reciben dosis superiores a la media. En el informe de 1972 se mostró la notable mejora que podía conseguirse mediante un enérgico programa de protección contra las radiaciones. Las dosis colectivas por irradiación profesional son pequeñas si se las compara con las correspondientes a la irradiación de la población, pero pueden darse, de todas maneras, elevadas dosis individuales.

78. Los receptores domésticos de televisión en colores son el artículo de consumo más corriente que puede exponer a la población a los rayos X. En el informe de 1972, se comunicaron varios casos de fugas de rayos X de ciertos tipos de aparatos de televisión. Sin embargo, desde esas fechas se ha generalizado el uso de circuitos de estado sólido. Por lo tanto, es probable que la emisión de rayos X de los receptores de color más modernos sea insignificante en circunstancias de funcionamiento normal y mantenimiento correcto.

79. La evaluación de la dosis debida al uso de artículos de consumo emisores de radiaciones resulta difícil por carecerse de amplia información respecto del número de tales productos que se encuentran en el mercado y de las cantidades de radiactividad que entrañan. Sin embargo, gracias a las recomendaciones internacionales y a ciertas reglamentaciones nacionales, está mejorando paulatinamente el control, y es probable que, en la actualidad, la dosis anual **per cápita a las gónadas debida al uso de bienes de consumo emisores de radiaciones** sea inferior a un mrad.

#### 4. Producción de energía mediante la fisión nuclear<sup>13/</sup>

80. Desde que el Comité intentó por primera vez evaluar las liberaciones de sustancias radiactivas correspondientes a la industria del combustible nuclear y la dosis comprometida mundial resultante, ha continuado intensificándose, aunque no al ritmo pronosticado, el empleo de reactores nucleares para producir energía eléctrica. En 1976, la capacidad generadora nuclear total instalada en el mundo era de unos 80 GW(e), correspondiente a 187 reactores de potencia que funcionaban en 19 países. La capacidad proyectada para el año 2000 es de unos 2.000 GW(e).

81. La producción de energía por medios nucleares entraña una serie de etapas, que abarcan los procesos de extracción y tratamiento del mineral de uranio, su conversión en combustible (que en la mayor parte de los casos incluye el enriquecimiento en el isótopo uranio-235), la fabricación de elementos combustibles, la utilización del combustible en reactores nucleares, el almacenamiento del combustible irradiado, su reelaboración con miras a reciclarlo, el transporte de materiales entre las diversas instalaciones y la eliminación definitiva de los desechos radiactivos.

82. Casi todas las sustancias radiactivas con que se trabaja en la industria nuclear se encuentran presentes en los reactores y en el combustible irradiado, o en fracciones bien aisladas que se han separado del combustible durante las operaciones de reelaboración. Sin embargo, en la mayor parte de las operaciones

---

<sup>13/</sup> Este tema se trata con detalle en el **anexo D** (Contaminación radiactiva debida a la producción de energía nuclear) y en el **anexo E** (Dosis debidas a irradiación profesional).

se producen liberaciones de pequeñas cantidades de sustancias radiactivas al medio ambiente. La mayoría de los radionucleidos liberados sólo plantean problemas a escala local o regional, porque sus periodos de semidesintegración son breves en comparación con el tiempo que necesitan para dispersarse a distancias mayores. Sin embargo, algunos radionucleidos, bien por tener periodos de semidesintegración mayores o porque se dispersan más rápidamente, pueden llegar a distribuirse por todo el mundo.

83. Al Comité le interesa evaluar las dosis comprometidas colectivas debidas a las liberaciones de sustancias radiactivas en todas las operaciones de la actual industria nuclear. Como la escala de cada etapa guarda relación con la capacidad nuclear correspondiente, parece razonable expresar esas evaluaciones como dosis comprometidas colectivas por unidad de energía generada, es decir, por MW(e)a. Estas dosis colectivas a la población mundial debidas a la producción de energía por medios nucleares comprenden las contribuciones que aportan cuatro componentes, a saber, los grupos expuestos por razones profesionales, las poblaciones locales, las poblaciones regionales o intermedias y la población mundial.

84. En el caso de unos pocos radionucleidos que tienen periodos de semidesintegración muy largos se plantea un problema especial de presentación de datos. Los ejemplos más importantes son el uranio-238 ( $4,5 \times 10^9$  a) y el yodo-129 ( $1,6 \times 10^7$  a). Aunque estos nucleidos no se van a acumular en la biosfera en cantidades suficientes para dar lugar a tasas de dosis superiores a un mrad por año, incluso si se continuara produciendo energía por medios nucleares durante 500 años a una tasa de 2.000 GW(e) con la tecnología actual, los periodos de exposición de muchos millones de años pueden traducirse en elevadas dosis comprometidas.

85. Como los periodos de exposición que estos casos representan son tan sumamente largos si se los considera con la perspectiva de la vida humana, las dosis comprometidas colectivas correspondientes no son realistas. Por ejemplo, para acumular una dosis colectiva de 1 rad-hombre por MW(e)a, una población mundial de  $10^{10}$  habitantes tendría que estar expuesta al uranio-238 durante un periodo del orden de **10 millones de años, o al yodo-129 durante un periodo de 10.000 años.** Debido a lo exiguo de las dosis **anuales, indicadas en el párrafo 84,** en las consideraciones siguientes no se incluyen las irradiaciones por estos nucleidos.

86. El carbono-14 es un nucleido que plantea problemas similares, aunque su periodo de semidesintegración es mucho más corto (5.730 a). La dosis comprometida colectiva debida al carbono-14 liberado de reactores de agua ordinaria y de las plantas de reelaboración conexas se estima en unos 5 rad-hombre por MW(e)a a los tejidos blandos y en 14 rad-hombre por MW(e)a a las células de revestimiento de los huesos y la médula ósea roja. La mitad de esta dosis colectiva será administrada en un periodo de 5.700 años. Sin embargo, como el carbono-14 necesita cierto tiempo para dispersarse en los océanos, hasta 1/4 de la dosis colectiva será administrado en 500 años. Esto significa que, si la industria nuclear funcionase a un ritmo constante durante 500 años, la dosis colectiva anual futura máxima sería alrededor de 1 rad-hombre por MW(e)a/año a los tejidos blandos, y 3 rad-hombre por MW(e)a/año a las células de revestimiento de los huesos y la médula ósea roja. Estas son las cifras que se utilizarán en la comparación siguiente de las contribuciones a la dosis colectiva.

87. Al pasar revista a las contribuciones aportadas a la dosis por las diversas etapas de la producción de energía por medios nucleares, se debe tener presente que las exposiciones individuales están limitadas por reglamentaciones nacionales, que suelen basarse en las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones. Esto significa que la dosis anual a todo el organismo que pueden recibir las personas irradiadas por razones profesionales tiene un límite superior de 5 rad de los tipos de radiación más frecuentes. Por lo general, las autoridades de cada país suelen disponer lo necesario para que las dosis anuales a los individuos más expuestos de la población no superen una pequeña fracción del límite de dosis de 0,5 rad al año recomendado por la CIPR para la suma de todas las exposiciones además de las debidas a fuentes naturales y a la irradiación médica de enfermos. Entre las normas actuales de protección contra las radiaciones figura también el principio de eliminar **toda** irradiación que no sea necesaria y **de mantener todas las dosis al nivel más bajo** que sea razonablemente practicable. Con estas precauciones se logra que sean raras las exposiciones a los niveles límite y que, por lo general, las distribuciones de las dosis sean tales que la dosis media de cada grupo de personas al que se aplica un límite sea muy inferior a dicho límite. La evaluación de dosis comprometidas colectivas relacionada con las fuentes es la que reviste **interés primordial para el presente informe.**

88. Al pasar revista a las diversas etapas de la producción de energía por medios nucleares, el Comité ha llegado a los siguientes valores para las contribuciones a la exposición del personal involucrado y de la población:

a) Extracción y tratamiento del mineral y fabricación de elementos combustibles. Estas etapas entrañan principalmente irradiaciones profesionales. La dosis comprometida colectiva a todo el organismo del trabajador es 0,05 rad-hombre por MW(e)a en las operaciones de minería, y 0,15 rad-hombre por MW(e)a en las industrias de tratamiento del mineral y de fabricación de elementos combustibles. Además, la extracción dará lugar a una irradiación del pulmón por productos de desintegración del radón que añadirá 0,1 rad-hombre por MW(e)a. La irradiación de la población es poco importante (no obstante, véanse los párrafos 84 y 85).

b) Funcionamiento de reactores. La irradiación de la población a escala local y regional dará lugar a una dosis comprometida colectiva de 0,2 a 0,3 rad-hombre por MW(e)a debida a descargas al aire, y de 0,03 a 0,06 rad-hombre por MW(e)a debida a descargas al agua. Las exposiciones mundiales a consecuencia del funcionamiento de reactores son pequeñas si se las compara con las que tienen su origen en la industria de reelaboración de combustible, en circunstancias en que se reelabore todo el combustible irradiado valiéndose de la tecnología actual. La dosis comprometida colectiva profesional está en las proximidades de 1 rad-hombre por MW(e)a.

c) Reelaboración del combustible. Las dosis colectivas local y regional debidas a la reelaboración son necesariamente bajas, ya que cada planta presta servicio a una gran producción de energía nuclear expresada en MW(e)a, y los límites de dosis a los individuos más expuestos de la vecindad son el factor limitante. Las dosis comprometidas colectivas mundiales debidas al tritio (0,05 rad-hombre por MW(e)a), al carbono-14 (1 a 3 rad-hombre por MW(e)a, véase el párrafo 86) y al cripton-85 (0,09 a 0,25 rad-hombre por MW(e)a) contribuirían de manera significativa al valor total imputable a la industria nuclear si se reelaborara todo el combustible irradiado y si estos nucleidos se liberaran como ocurre en la actualidad. La contribución profesional de las cantidades relativamente pequeñas de combustible de la industria nucleoelectrónica que han sido reelaboradas hasta la fecha se estiman en 1,2 rad-hombre por MW(e)a. Sin

embargo, no se supone que esta contribución sea aplicable a la industria nuclear en su totalidad, porque habría menos trabajadores involucrados por MW(e)a que en el caso arriba mencionado, en tanto que las dosis profesionales individuales seguirían limitadas por las reglamentaciones. Por ejemplo, con el límite actual fijado para la dosis profesional a todo el organismo, sería poco probable que se excediera una dosis comprometida colectiva a los trabajadores del orden de 1 rad-hombre por MW(e)a si, según parece probable, una planta de reelaboración pudiera prestar servicios a una capacidad nuclear de 20.000 MW(e)a por año y tuviera un personal de operaciones de varios miles de personas.

d) Transportes. Las irradiaciones externas debidas a todas las operaciones de transporte representan una dosis estimada en 0,003 rad-hombre por MW(e)a nada más.

e) Almacenamiento de desechos. El Comité está convencido de que la aportación a la dosis colectiva de las prácticas actuales de almacenamiento de desechos es muy pequeña en comparación con las contribuciones de otras fases del ciclo del combustible nuclear. Se puede considerar que la contribución profesional queda incluida en la mencionada anteriormente respecto de la reelaboración.

f) Eliminación definitiva de desechos. Como las autoridades nacionales siguen manteniendo almacenados los desechos de alto nivel de radiactividad procedentes de operaciones de producción de energía por medios nucleares, no habiéndose decidido aún el método preciso de eliminación definitiva, el Comité se considera incapaz, por el momento, de hacer una evaluación adecuada de la dosis comprometida colectiva a la población mundial resultante de la eliminación de tales desechos.

g) Investigación y desarrollo tecnológico. Una fracción de las exposiciones que se reciben en establecimientos de investigación y desarrollo tecnológico es imputable al apoyo al funcionamiento continuado, o al desarrollo futuro, de la industria nucleoelectrónica. Se estima que estas irradiaciones profesionales contribuyen alrededor de 1,4 rad-hombre por MW(e)a. La dosis comprometida colectiva a la población es inferior, por lo menos, en un orden de magnitud.

89. La suma total de las exposiciones mencionadas en el párrafo anterior se aproxima a los 7 rad-hombre por MW(e)a, con una variación entre los distintos tejidos inferior al 30% de dicho valor (la tiroides y los pulmones son los órganos que reciben las dosis máximas, en tanto que a las gónadas les corresponden los valores más bajos). En el cuadro 2 se indican las principales contribuciones. En esta suma predominan las contribuciones profesionales. Sin embargo, por las razones expuestas en el párrafo 88, la contribución de 1,2 rad-hombre por MW(e)a aportada por la reelaboración no sería representativa de un ciclo de combustible cerrado en el que interviniera toda la industria nuclear. Tampoco sería de prever que la investigación y el desarrollo tecnológico aportaran grandes contribuciones en una industria desarrollada. Así pues, no se supone que la dosis comprometida colectiva total en el futuro, con la tecnología existente, exceda de 3 a 6 rad-hombre por MW(e)a. Dada la distribución por edades de la población expuesta, sólo un 30% aproximadamente del límite inferior del intervalo de dosis colectivas para toda la industria, según figura en el cuadro 2, tiene importancia desde el punto de vista genético.

Cuadro 2

<u>Etapas del ciclo del combustible</u>	<u>Dosis comprometida colectiva [rad-hombre/MW(e)a]</u>
Extracción y tratamiento del mineral y fabricación de elementos combustibles	
a) Irradiación profesional	0,2 - 0,3
Funcionamiento de reactores	
a) Irradiación profesional	1,0
b) Irradiación de las poblaciones local y regional	0,2 - 0,4
Reelaboración	
a) Irradiación profesional	1,2
b) Irradiación de las poblaciones local y regional	0,1 - 0,6
c) Irradiación de la población mundial	1,1 - 3,3
Investigación y desarrollo tecnológico	
a) Irradiación profesional	1,4
<b>Total para la industria</b>	<b>5,2 - 8,2</b>

5. Explosiones nucleares<sup>14/</sup>

90. Desde que se publicó el informe del Comité de 1972, se han efectuado varios ensayos nucleares, inclusive 20 en la atmósfera, 6 de los cuales tuvieron lugar en el hemisferio norte y 14 en el hemisferio sur. El informe del Comité de 1972 contenía estimaciones de las dosis comprometidas a la población debidas a todos los ensayos atmosféricos realizados hasta fines de 1970. En el presente informe, el Comité ha evaluado las dosis comprometidas resultantes de los ensayos atmosféricos efectuados hasta fines de 1975. A partir de los aumentos de los inventarios mundiales de estroncio-90 y de cesio-137, el Comité estima que las dosis comprometidas en los hemisferios norte y sur han aumentado aproximadamente en 2% y 6%, respectivamente, como consecuencia de los ensayos realizados de 1971 hasta fines de 1975.

91. La dosis comprometida mundial total debida a todas las explosiones nucleares efectuadas antes de 1976 va de unos 100 mrad (a las gónadas) a unos 200 mrad (a las células que revisten los huesos). En la zona templada septentrional, los valores son mayores en un 50% y, en la zona templada meridional, menores en un 50%, aproximadamente, que estas estimaciones. Las irradiaciones externas aportadas por el cesio-137 y los nucleidos emisores de radiación gamma de período corto representan unos 70 mrad de la dosis comprometida mundial a todos los tejidos. En las irradiaciones internas predominan las contribuciones de los nucleidos de largo período cesio-137 y estroncio-90 (en el esqueleto). Sus períodos de semidesintegración, de unos 30 años aproximadamente, determinan el período de tiempo en que se administrarán las dosis. Los isótopos rutenio-106 y cerio-144, de período más corto, aportan importantes contribuciones a la irradiación del pulmón.

92. Lo mismo que en el caso de la industria nucleoelectrónica, el carbono-14 da lugar a las dosis comprometidas más altas. Su aportación es de unos 120 mrad a las gónadas y al pulmón y 450 mrad a las células de revestimiento de los

---

<sup>14/</sup> Este tema se trata con detalle en el anexo C (Contaminación radiactiva debida a explosiones nucleares).

huesos y la médula ósea roja. Estas dosis serán administradas durante un período de muchos miles de años. Por las razones expuestas en el párrafo 86, no se incluyen en la estimación de la dosis comprometida dada en el párrafo anterior:

93. La dosis comprometida colectiva mundial total a diferentes tejidos debida a explosiones nucleares de ensayo, va de  $4 \times 10^8$  a  $8 \times 10^8$  rad-hombre si no se incluye la aportación del carbono-14, y esta dosis comprometida es equivalente a una exposición de esos tejidos durante 16 a 24 meses a la radiación de fuentes naturales normales. Si se incluye la aportación del carbono-14, se duplica el valor obtenido para la dosis comprometida colectiva.

94. El yodo-131 de período corto aporta importantes contribuciones a la irradiación de la tiroides durante las primeras semanas que siguen a la explosión nuclear. Las dosis máximas las reciben los lactantes de algunas poblaciones que consumen leche fresca, y desde 1972 se han estimado dosis anuales a la tiroides que van desde unos pocos mrad hasta unos 200 mrad, correspondientes a los períodos en que se han efectuado ensayos nucleares en la atmósfera. La dosis a la tiroides de los adultos es unas diez veces menor que la correspondiente a los lactantes.

#### 6. Empleo de las radiaciones con fines médicos<sup>15/</sup>

95. En sus informes de 1958, 1962 y 1972 el Comité ya ha presentado datos sobre la irradiación de pacientes con fines médicos y sobre la exposición profesional conexas. Las exposiciones de origen médico tienen particular interés puesto que constituyen las dosis per cápita más elevadas de irradiación artificial, por habitante, se administran a tasas elevadas de dosis instantáneas y aportan las dosis más altas a órganos individuales, con excepción de las exposiciones accidentales. Desde el punto de vista de la protección contra las radiaciones, este tipo de exposición es también el que ofrece mayores posibilidades de reducir las dosis sin perder por ello la información necesaria. Difieren de

---

<sup>15/</sup> Este tema se trata en detalle en el anexo E (Dosis debidas a irradiación profesional) y en el anexo F (Irradiación con fines médicos).

otros muchos tipos de exposición en que suelen entrañar únicamente la irradiación de regiones limitadas del organismo. También difieren en el sentido de que las personas irradiadas son precisamente aquellas que abrigan esperanzas de recibir un beneficio directo del tratamiento o examen a que se las somete.

96. En los informes anteriores se hizo hincapié en la evaluación de la dosis anual genéticamente significativa (DGS). La presentación de tales datos estimuló la continuación de los estudios, por lo que actualmente resulta relativamente claro hasta qué punto las exposiciones con fines médicos contribuyen a la dosis genética total, tanto en los países en desarrollo como en los que ya han alcanzado un alto grado de adelanto tecnológico (véase el párr. 99).

En los países en desarrollo, el nivel de la dosis anual genéticamente significativa (DGS) suele reflejar el grado de disponibilidad de equipos de rayos X. Tal vez sea necesario ampliar esos servicios —poniéndose especial cuidado en velar por la aplicación de procedimientos correctos— a fin de satisfacer las necesidades médicas de esos países. Es probable que ello contribuya a incrementar la dosis genética en los mismos.

97. La importancia atribuida a la DGS quizá haya restado atención a las exposiciones sufridas por otros órganos aparte de las gónadas, y por lo tanto puede haber contribuido a que se subestimase el riesgo global que suponen ciertos tipos de exámenes médicos que generalmente causan dosis muy bajas a las gónadas. Ejemplo de ello son los exámenes torácicos, que entrañan irradiación de tejidos radiosensibles tales como el pulmón, la glándula mamaria, la médula y, a veces, la tiroides. En consecuencia, el informe de 1972 incluyó datos adicionales sobre la dosis en la médula ósea activa. También se incluyó información sobre varios grupos de pacientes que habían recibido dosis elevadas, algunos de los cuales exhibieron una incidencia de ciertas enfermedades más alta que en grupos comparables no irradiados. En el presente informe se sigue prestando atención a la determinación de los exámenes que pueden traducirse en dosis elevadas en ciertos órganos. También se ha procurado dar una imagen más completa de la distribución de las dosis en el paciente, presentando datos sobre las dosis recibidas por tejidos radiosensibles tales como la médula ósea, la tiroides, el pulmón y la mama.

98. Al presentar datos sobre los niveles de las dosis derivadas de procedimientos médicos, el Comité persigue tres objetivos diferentes. En primer lugar, parece importante conocer las dosis a órganos individuales, resultantes de diversos tipos de irradiación médica y, especialmente, determinar hasta qué punto varían dichas dosis, ya que tal conocimiento serviría de base para intentar una ponderación de los riesgos de la radiación en comparación con los posibles beneficios para cada paciente, y realizar análisis diferenciales de costos-beneficios en relación con las medidas de protección. En segundo lugar, podría resultar interesante conocer tanto las dosis individuales como las dosis colectivas a los órganos resultantes de diversas prácticas médicas, en tanto que parte del cuadro general de la irradiación total a que está expuesto el ser humano. El tercer objetivo es identificar algunos grupos de población muy expuestos, lo que podría ser de interés para los estudios epidemiológicos. Con este propósito, es útil determinar la dosis colectiva.

99. La dosis individual que deba aplicarse a cada paciente deberá ser determinada por el médico que lo trata, en función del beneficio que pueda reportar a dicho paciente y de la necesidad de obtener diagnósticos o aplicar tratamientos. Esto significa que la dosis a los diversos órganos y tejidos del paciente podrá variar desde valores casi insignificantes hasta otros muy elevados, que causen lesiones a los tejidos próximos a los campos en tratamiento cuando el fin de éste sea, por ejemplo, destruir un tumor mediante las radiaciones. Por consiguiente, las dosis **per cápita resultantes de la irradiación médica** se componen de una gran variedad de niveles y de distribuciones de dosis en los casos individuales. Sin embargo, las más importantes contribuciones a las dosis **per cápita resultan de tipos de exposición que afectan a grandes números de individuos**, como sucede con algunos exámenes con rayos X para fines de diagnóstico. En esos casos, las dosis anuales **per cápita a los tejidos que interesan al Comité** son aproximadamente similares en magnitud, situándose en muchos países tecnológicamente desarrollados en el intervalo de 50 a 100 mrad, con un valor de la dosis genéticamente significativa aproximadamente igual a la mitad del de la dosis **per cápita a las gónadas**. Esto significa que la dosis colectiva anual resultante de los procedimientos médicos es del orden de  $5 \times 10^4$  a  $10^5$  rad-hombre por millón de habitantes en países con abundantes instalaciones de radiología, estimándose en  $10^3$  rad-hombre por millón de habitantes en países con escasez de tales instalaciones.

100. En todos los países que han enviado datos al Comité, la vigilancia de las dosis recibidas por las personas que intervienen profesionalmente en la utilización con fines médicos de las radiaciones o de sustancias radiactivas es labor de ciertas entidades, que van desde los propios hospitales hasta importantes servicios de vigilancia del personal. Normalmente, los resultados se comunican a los empleadores correspondientes, pero por lo general no se compilan de manera sistemática. Por lo tanto, resulta difícil tener la certeza de que los datos sobre dosis reunidos por el Comité sean completos y representativos. Se calcula que la exposición profesional de los trabajadores en el campo de la medicina representa una dosis colectiva anual del orden de  $10^2$  rad-hombre por millón de habitantes.

101. La aportación de la irradiación profesional a la dosis colectiva resultante del uso de las radiaciones con fines médicos es, por consiguiente, insignificante si se la compara con la de la irradiación de pacientes. Puede estimarse que la dosis colectiva mundial anual derivada del uso médico de las radiaciones es del orden de  $5 \times 10^7$  rad-hombre, por lo que respecta a la aportación de los países que disponen de abundantes instalaciones radiológicas, y de  $2 \times 10^6$  rad-hombre en el caso de los países con pocas instalaciones de esa naturaleza.

7. Resumen de las dosis comprometidas mundiales debidas a las diversas fuentes de radiación

102. En el cuadro 3 se resumen las dosis comprometidas mundiales a todo el organismo estimadas para las diversas fuentes y prácticas examinadas en el informe. Se expresan como el tiempo de exposición de la población mundial a las radiaciones naturales que daría lugar a la misma dosis comprometida.<sup>16/</sup>

103. Conforme a la hipótesis de que hay proporcionalidad entre incrementos de dosis y riesgo, las aportaciones relativas al **detrimento total causado por las radiaciones** de cada una de las diversas fuentes guardaría proporción con

---

<sup>16/</sup> En el **anexo A** se discuten los períodos de tiempo en que deben evaluarse las dosis para calcular las dosis comprometidas, y las condiciones y restricciones detalladas que corresponden a cada concepto del cuadro figuran en los anexos pertinentes en los que se exponen los cálculos de cada caso.

las dosis comprometidas mundiales que se enumeran en el cuadro 3. Sin embargo, el Comité insiste en que toda comparación basada en los valores del cuadro 3 puede conducir a error si no se tienen presentes las limitaciones y condiciones discutidas en los párrafos precedentes del presente informe. En particular, hay que tener en cuenta que la dosis comprometida resultante de prácticas futuras depende de los adelantos de la tecnología y de la evolución de las reglamentaciones pertinentes, siendo ambos factores difíciles de predecir.

Cuadro 3

Dosis comprometidas mundiales debidas a diversas fuentes de radiación

<u>Causa de la irradiación</u>	<u>Dosis comprometida mundial (días)<sup>a/</sup></u>
Un año de exposición a fuentes naturales de radiación	365
Un año de viaje en aviones de pasajeros	0,4
Consumo de la producción de un año de fertilizantes fosfatados, al ritmo de producción actual	0,04
Un año de producción mundial de energía eléctrica en centrales térmicas alimentadas por carbón con la capacidad instalada mundial actual $[10^6 \text{ MW(e)}]$	0,02
Un año de exposición a las radiaciones emitidas por ciertos artículos de consumo	3
Un año de producción de energía nuclear con la capacidad instalada mundial del momento $[8 \times 10^4 \text{ MW(e)}]$	0,6
Un año de explosiones nucleares, promediadas a lo largo del período de 1951 a 1976	30
Un año de uso de radiaciones para diagnóstico médico	70

a/ La dosis comprometida mundial se expresa como el tiempo de exposición de la población mundial a las radiaciones naturales que daría lugar a la misma dosis comprometida. En las cifras se incluye la aportación profesional.

104. La máxima aportación de las actividades humanas a la dosis colectiva mundial es la que tiene su origen en el uso de las radiaciones con fines médicos y, en particular, en los exámenes con rayos X a efectos de diagnóstico. Para muchos países resulta importante ampliar los servicios e instalaciones de

radio-medicina, y tal ampliación irá acompañada de aumentos de las dosis comprometidas en los mismos países. Pero también es importante que la exposición de los pacientes tratados con radiaciones se limite al valor mínimo necesario para conseguir los fines médicos que se persigan (párrs. 95 a 101).

105. La producción de energía por medios nucleares está sometida a reglamentaciones nacionales que, por lo general, se basan en principios acordados a nivel internacional. A un año de producción de energía, con la capacidad instalada actual de 80.000 MW (e), le corresponde una dosis comprometida mundial equivalente de 0,6 días de exposición a la radiación natural. Si se supone que la tecnología nuclear actual no cambia, un año de producción de energía con la capacidad nuclear proyectada para el año 2000 [ $2 \times 10^6$  MW(e)] se traduciría en una dosis comprometida mundial equivalente a unos 15 días de exposición a la radiación natural.

106. La dosis comprometida colectiva debida a las explosiones nucleares llevadas a cabo hasta 1976 es equivalente a unos dos años de exposición a la radiación natural, si no se tiene en cuenta la aportación del carbono-14. Si se incluye dicha aportación, la dosis comprometida resultante es el doble. Las aportaciones de las explosiones atmosféricas efectuadas desde 1970, es decir, tras el período que abarcó el informe anterior del Comité, han incrementado las dosis comprometidas debidas al estroncio-90 y al cesio-137 en un 2% aproximadamente, en el hemisferio norte, y en un 6% aproximadamente en el hemisferio sur.

Apéndice I

LISTAS DE ESPECIALISTAS CIENTIFICOS, MIEMBROS  
DE DELEGACIONES NACIONALES

1. 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

Profesor F.E. Stieve (Representante)  
Profesor U.H. Ehling  
Profesor W. Jacobi  
Profesor H. Kriegel  
Profesor L. Rausch

ARGENTINA

Dr. D. Cancio (Representante)  
Dr. A.E. Placer (Representante)  
Sr. C.A. Menossi

AUSTRALIA

Mr. J.R. Moroney (Representante)  
Dr. D.J. Stevens (Representante)  
Profesor R.J. Walsh  
Profesor C.N. Watson-Munro

BELGICA

Profesor F.H. Sobels (Representante)  
Dr. J.B.T. Aten

BRASIL

Profesor L.R. Caldas (Representante)  
Dr. E. Penna-Franca

CANADA

Dr. G.C. Butler (Representante)  
Sr. A.H. Booth  
Sr. W.R. Bush  
Dr. H.C. Rothschild  
Dr. B.K. Trimble

CHECOSLOVAQUIA

Dr. M. Klímek (Representante)

EGIPTO

Profesor M.E.A. El-Kharadly

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

Dr. R.H. Chamberlain (Representante)  
Dr. R.D. Moseley (Representante)  
Dr. R. Baker  
Dr. A.M. Brues  
Dr. H.D. Bruner  
Dr. J.H. Harley  
Dr. F. Lowman  
Profesor H. Rossi  
Dr. W.L. Russell  
Dr. W.K. Sinclair  
Profesor A.C. Upton  
Dr. H.O. Wyckoff

FRANCIA

Dr. H. Jammet (Representante)  
Dr. R. Coulon  
Dr. B.H. Dutrillaux  
Dr. C. Lafuma  
Profesor P. Pellerin

INDIA

Dr. A.R. Gopal-Ayengar (Representante)  
Dr. K. Sundaram (Representante)

INDONESIA

Profesor A. Baiquni (Representante)  
Sr. M.K. Tadjudin (Representante)

JAPON

Dr. K. Misono (Representante)  
Dr. R. Ichikawa  
Dr. N. Ito  
Dr. S. Nakai  
Dr. Y. Tazima

MEXICO

Dr. M. Martínez Báez (Representante)  
Sr. J.R. Ortiz Magaña (Representante)  
Dr. A.L. de Garay  
Dra. Rebeca Magidín de Nulman

PERU

Dr. C. Guzmán Acevedo (Representante)

POLONIA

Profesor Z. Jaworowski (Representante)

REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE

Sir Edward Pochin (Representante)  
Profesor D. Carter  
Sr. H.J. Dunster  
Sr. F. Morley  
Dr. A.G. Searle

SUDAN

Dr. A. Hidayatalla (Representante)

SUECIA

Profesor B. Lindell (Representante)  
Dr. S. Bergström  
Dr. K. Edvarson  
Profesor K.G. Luning  
Sr. J.O. Snihs  
Dr. Evelyn Sokolowski  
Dr. G. Walinder

UNION DE REPUBLICAS SOCIALISTAS SOVIETICAS

Profesor A.M. Kuzin (Representante)  
Dr. R. Alexakhin  
Dra. Angelina Gouskova  
Dr. L. Ilyin  
Dr. A. Moiseev  
Dr. M.M. Saurov

Apéndice II

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

Dr. D. Beninson  
Sr. B. G. Bennett  
Dr. A. Bouville  
Srta. Pamela M. Bryant  
Prof. R. E. Ellis  
Prof. B. Lindell  
Prof. J. Liniecki  
Dr. W. M. Lowder  
Dr. V. Lyscov  
Dr. B. J. O'Brien  
Sir Edward Pochin  
Dr. K. Sankaranarayanan  
Prof. Dr. W. Schüttmann  
Dr. G. Silini  
Sr. J. O. Snihs  
Sr. G. A. M. Webb

Apéndice III

LISTA DE INFORMES RECIBIDOS POR EL COMITE

1. A continuación se enumeran los informes recibidos por el Comité, procedentes de gobiernos y de organizaciones del sistema de las Naciones Unidas, desde el 25 de marzo de 1972 al 12 de abril de 1977.

2. Los informes recibidos por el Comité antes del 24 de marzo de 1972 figuran en los anexos de los anteriores informes presentados por el Comité a la Asamblea General.

---

Signatura del documento

País y título

---

A/AC.82/G/L.

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

1411 Global inventory and distribution of SNAP-9A,  
1 March, 1972, HASL-250

ARGENTINA

1412 Radio-226 en el hombre.

1413 Compilación de los Resultados del Monitoraje de Sr-90 y Cs-137  
debidos al fallout en la República Argentina.

1114 Estudio de un caso de irradiación humana accidental.

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

1415 Fall-out program quarterly summary report, 1 April, 1972,  
HASL-249.

1415/Add.1 Appendix to HASL-249.

NUEVA ZELANDIA

1416 Annual report for the year 1969.

1417 Annual report for the year 1970.

1418 Environmental radioactivity in New Zealand: quarterly report  
July-September 71 and Pacific Area Monitoring 31 August-31 October  
1971.

SUECIA

1419 Radiostrontium-induced carcinomas of the external ear.

1420 Effect of different doses of <sup>90</sup>Sr on the ovaries of the foetal  
mouse.

1421 Pathologic effects of different doses of radiostrontium in mice  
development and incidence of leukaemia.

1422 Protective effect of cysteamine at fractionated irradiation.  
III. Histopathologic diagnoses at death.

---

Denominación del documento

País y título

---

AUSTRALIA

- 1423 Fall-out over Australia from nuclear weapons tested by France in Polynesia from June to August 1971.

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

- 1424 Fall-out program quarterly summary report, 1 July 1972 HASL-257.

- 1424/Add.1 Appendix to HASL-257.

SUIZA

- 1425 Quinzième rapport de la Commission fédérale de la radioactivité pour l'année 1971, à l'intention du Conseil fédéral.

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

- 1426 HASL-300 "HASL Procedures Manual".

- 1426/Add.1 Supplement to HASL-300 "HASL Procedures Manual".

- 1426/Add.2 Supplement to HASL-300 "HASL Procedures Manual".

NUEVA ZELANDIA

- 1427 Environmental radioactivity in New Zealand quarterly report, April-June 1971, and Pacific Area Monitoring 4 June-31 August 1971. (NRL-F/45).

REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE

- 1428 Agricultural Research Council - Letcombe Laboratory. Annual report 1971.

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

- 1429 Studies of the mortality of A-bomb survivors.

SUIZA

- 1430 Douzième rapport de la Commission fédérale de la radioactivité pour l'année 1968, à l'intention du Conseil fédéral.

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

- 1431 Fall-out program quarterly summary report, 1 October 1972, HASL-259.

- 1431/Add.1 Appendix to HASL-259.

1432. Index to fall-out program quarterly summary reports, 1 October 1972, HASL-266.

NUEVA ZELANDIA

- 1433 Fall-out from nuclear weapons tests conducted by France in the South Pacific from June to August 1971. (NRL-F/47).

- 1434 Annual report for the year 1971. (NRL-AR/22).

---

Signatura del documento

País y título

---

JAPON

1435 Radioactivity survey data in Japan. No. 34. February 1972.

NUEVA ZELANDIA

1436 Environmental radioactivity. Annual report 1971. (NRL-F/48).

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

1437 Fall-out program quarterly summary report, 1 January 1973, HASL-268.

1437/Add.1 Appendix to HASL-268.

ITALIA

1438 Data on environmental radioactivity collected in Italy (January-December 1969).

REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE

1439 Radioactive fall-out in air and rain. Results to the middle of 1972.

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

1440 Fall-out program quarterly summary report, 1 April 1973, HASL-273.

1440/Add.1 Appendix to HASL-273.

JAPON

1441 Radioactivity survey data in Japan. No. 36. August 1972.

AUSTRALIA

1442 Strontium-90 and Caesium 137 in the Australian environment during 1970 and some results for 1971.

1443 Fall-out over Australia from nuclear weapons tested by France in Polynesia during June and July 1972.

FRANCIA

1444 Surveillance de la radioactivité en 1972.

REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE

1445 Radioactivity in human diet in the United Kingdom, 1972.

1446 Assay of strontium-90 in human bone in the United Kingdom. Results for 1970.

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

1447 Fall-out program quarterly summary report, 1 July 1973, HASL-274.

1447/Add.1 Appendix to HASL-274.

---

Signatura del documento

País y título

---

JAPON

1448 Radioactivity survey data in Japan. No. 37. November 1972.

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

1449 Fall-out program quarterly summary report, 1 October 1973,  
HASL-276.

1449/Add.1 Appendix to HASL-276.

SUIZA

1450 Seizième rapport de la Commission fédérale de la radioactivité  
pour l'année 1972, à l'intention du Conseil fédéral.

AUSTRALIA

1451 Data on levels of radioactivity in Australia, 1971-1973.

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

1452 Fall-out program quarterly summary report, 1 January 1974,  
HASL-278.

1452/Add.1 Appendix to HASL-278.

UNION DE REPUBLICAS SOCIALISTAS SOVIETICAS

1453 К вопросу о возможности использования анализа волос для  
определения полония-210 в костной ткани и печени человека.

1454 К вопросу о поведении цезия-137 в дерново-подзолистых почвах  
украинского полесья.

1455 Весовые показатели развития скелета плода человека и со-  
держание в нем стронция и кальция.

1456 О взаимодействии радиоактивных изотопов с органическим  
веществом почвы.

1457 Миграция стронция-90 и цезия-137 в почвенно-растительном  
покрове конечноморенных ландшафтов.

1458 Скорость выпадения аэрозолей цезия-137 и стронция-90 из  
атмосферы.

1459 Миграция глобальных цезия-137 и стронция-90 по пищевым  
цепочкам населения отдельных районов украинского полесья.

Signatura del documento

País y título

UNION DE REPUBLICAS SOCIALISTAS SOVIETICAS

- 1460 Радиоактивность внешней среды, пищевых продуктов и организма человека на Украине в период 1962-1969 гг.
- 1461 Свинец-210, полоний-210, радий-226, торий-228 и плутоний-239 в цепочке лишайник-олень-человек на крайнем севере СССР.
- 1462 Относительная подвижность, состояние и формы нахождения стронция-90, стабильного стронция и кальция в почвах.
- 1463 Долгоживущие искусственные и естественные радиоизотопы в зерне сельскохозяйственных культур в Подмосквье.
- 1464 Состояние и формы нахождения радиоизотопов в глобальных выпадениях.
- 1465 Содержание стронция-90 в костной ткани взрослых и в зубах лиц разного возраста.
- 1466 О связи стронция-90 с различными фракциями органического вещества почв.
- 1467 Всасывание селенца-210 и полония-210 в желудочно-кишечном тракте у крысы и человека.
- 1468 Естественные радиоактивные изотопы в морской рыбе и воде.
- 1469 О миграции стронция-90 и цезия-137 в почвах.
- 1470 Ландшафтно-геохимические аспекты поведения стронция-90 в лесных и пойменных биогеоценозах полесий.
- 1471 Водная миграция стронция-90.
- 1472 Оценка популяционной дозы внутреннего облучения некоторых народностей крайнего севера Советского Союза от глобального цезия-137.
- 1473 Концентрация стронция-90 в продуктах питания и поступление его с пищевым рационом населению Грузинской ССР в результате стратосферных выпадений.
- 1474 Распределение радиоактивных изотопов в системе водохранилища.

REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE

- 1475 Radioactive fall-out in air and rain. Results to the middle of 1973.

---

Signatura del documento

País y título

---

NUEVA ZELANDIA

- 1476 Environmental radioactivity . Fall-out from nuclear weapons tests conducted by France in the South Pacific during July and August 1973 and comparisons with previous test series.

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

- 1477 Serum immunoglobulin levels in atomic bomb survivors in Hiroshima, Japan.
- 1478 Spleen index in atomic bomb survivors.
- 1479 The health of atomic bomb survivors: a decade of examinations in a fixed population.
- 1480 Fall-out program quarterly summary report, 1 April 1974, HASL-281.
- 1480/Add. 1 Appendix to HASL-281.

REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE

- 1481 Radioactivity in human diet in the United Kingdom, 1973

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

- 1482 Extracts from the Agency's programme for 1975-80 and Budget for 1975. (GC(XVIII)/526).
- 1483 Annual report 1 July 1973-30 June 1974. (GC/XVIII)/525).

NUEVA ZELANDIA

- 1484 Monitoring of radioactive fall-out from the 1974 French South Pacific nuclear tests.

FRANCIA

- 1485 Surveillance de la radioactivité en 1973.

NUEVA ZELANDIA

- 1486 Fall-out from nuclear weapons tests conducted by France in the South Pacific during June and July 1972 and comparisons with previous test series.
- 1487 Environmental radioactivity. Annual report 1972.
- 1488 Environmental radioactivity. Annual report 1973.

ARGENTINA

- 1489 Fallout radioactivo debido a las explosiones en el Pacífico Sur en el período enero-octubre de 1973.
- 1490 Fallout radioactivo debido a las explosiones en el Pacífico Sur en el período 1971-1972.
- 1491 Monitoraje de Sr-90 y Cs-137 debidos al fallout en República Argentina.

Signatura del documento	País y título
ARGENTINA	
1492	Estudio comparativo del metabolismo, en ratas, del plomo 210 y del polonio 210.
1493	Incorporación de radioestroncio por organismos marinos.
CHECOSLOVAQUIA	
1494	Values of $^{90}\text{Sr}$ in vertebrae and femoral diaphysis of adults in Czechoslovakia in 1971.
1495	The values of the ratio $^{90}\text{Sr}$ in vertebrae/ $^{90}\text{Sr}$ in diaphysis in different age groups (Czechoslovakia 1969, 1970, 1971).
NUEVA ZELANDIA	
1496	Fall-out from French nuclear tests in the South Pacific, 1974.
AUSTRALIA	
1497	Data from the Australian fall-out monitoring programmes.
UNION DE REPUBLICAS SOCIALISTAS SOVIETICAS	
1498	Коэффициенты распределения радиоизотопов между твердой и жидкой фазами в водоемах.
1499	Оптимальная интерпретация измерений радиоктивности океана.
1500	Дозовая нагрузка на мышевидных грызунов, обитающих на участках повышенной естественной радиоактивности.
1501	Влияние неразделенной смеси продуктов ядерного деления на реакции иммунитета.
1502	Содержание стронция-90 и цезия-137 в пищевом рационе населения Советского Союза в 1967-1969 гг.
1503	Определение генетически значимых доз за счет медицинской рентгенологии в Иркутске.
1504	Иммунологические реакции при сочетанном действии на экспериментальных животных внешнего облучения и инкорпорированных радиоизотопов.
ESTADOS UNIDOS DE AMERICA	
1505	Fall-out program quarterly summary report, 1 July 1974, HASL-284.
1505/Add.1	Appendix to HASL-284.

---

Signatura del documento

País y título

---

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

1506 Fall-out program quarterly summary report, 1 October 1974, HASL-286.

1506/Add.1 Appendix to HASL-286.

REINO UNIDO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE

1507 Radioactive fall-out in air and rain: results to the middle of 1974.

JAPON

1508 Radioactivity survey data in Japan. No. 38. November 1973.

1509 Radioactivity survey data in Japan. No. 39. September 1974.

FRANCIA

1510 Statistical study on 17 000 workers exposed to ionizing radiation during 1973.

BELGICA

1511 La radioactivité mesurée à Mol. Année 1970.

1512 La radioactivité mesurée à Mol. Année 1971.

NUEVA ZELANDIA

1513 Environmental radioactivity: fall-out from nuclear weapons tests conducted by France in the South Pacific from June to September 1974 and comparisons with previous test series.

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

1514 Autopsy study of blast crisis in patients with chronic granulocytic leukaemia, Hiroshima and Nagasaki, 1949-1969.

1515 Mortality in children of atomic bomb survivors and controls.

1516 Fall-out program quarterly summary report, 1 January 1975, HASL-288.

1516/Add.1 Appendix to HASL-288.

1517 Environmental quarterly, 1 April, 1975, HASL-291.

1517/Add.1 Appendix to HASL-291.

1518 Index to fall-out program quarterly summary reports, 1 April 1975, HASL-292.

1519 Epidemiologic studies of coronary heart disease and stroke in Japanese men living in Japan, Hawaii and California: demographic, physical, dietary and biochemical characteristics.

---

Signatura del documento	País y título
	ESTADOS UNIDOS DE AMERICA
1520	Environmental quarterly, 1 July 1975, HASL-294.
1520/Add.1	Appendix to HASL-294.
	FRANCIA
1521	Surveillance de la radioactivité en 1974.
	ALEMANIA, REPUBLICA FEDERAL DE
1522	Environmental radioactivity and radiation levels, annual report 1973.
	REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE
1523	Radioactivity in human diet in the United Kingdom, 1974.
	ESTADOS UNIDOS DE AMERICA
1524	Environmental quarterly, 1 October 1975, HASL-297.
1524/Add.1	Appendix to HASL-297.
1525	Environmental quarterly, 1 January 1976, HASL-298.
1525/Add.1	Appendix to HASL-298.
	NUEVA ZELANDIA
1526	Environmental radioactivity: annual report 1974.
	ESTADOS UNIDOS DE AMERICA
1527	A review of 30 years of study of Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors.
1528	Environmental quarterly, 1 April 1976, HASL-302.
	JAPON
1529	cancelled
1530	cancelled
1531	Estimation of population doses from diagnostic medical examinations in Japan, 1974 (1 to 4).
1532	Estimation of population doses from brachytherapy in Japan.
	SUIZA
1533	Dix-huitième rapport de la Commission fédérale de la radioactivité à l'intention du Conseil fédéral, pour l'année 1974.
	REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE
1534	Radioactive fall-out in air and rain: results to the end of 1975.

---

Signatura del documento

País y título

---

UNION DE REPUBLICAS SOCIALISTAS SOVIETICAS

- 1535      Методический подход к оценке дозовых нагрузок от остеотропных изотопов с учетом изменения параметров обмена в процессе роста организма.
- 1536      Исследование и нормирование радиоактивности строительных материалов.
- 1537      Материалы к нормированию и нормативы предельно допустимых поступлений радиоактивных изотопов иода в организм человека.

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

- 1538      Environmental quarterly, 1 July, 1976, HASL-306.
- 1538/Add.1 Appendix to HASL-306.

REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE

- 1539      Radioactivity in human diet in the United Kingdom, 1975.

FRANCIA

- 1540      Surveillance de la radioactivité en 1975.

JAPON

- 1541      Radioactivity survey data in Japan. No. 40. November 1975.

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

- 1542      Environmental quarterly, 1 October 1976, HASL-308.
- 1542/Add.1 Appendix to HASL-308.

ALEMANIA, REPUBLICA FEDERAL DE

- 1543      Environmental radioactivity and radiation levels in 1974.
- 1544      Environmental radioactivity and radiation levels, annual report 1974.

NUEVA ZELANDIA

- 1545      Environmental radioactivity: annual report 1975. (NRL-F/55).

SUIZA

- 1546      Dix-neuvième rapport de la Commission fédérale de la radioactivité pour l'année 1975, à l'intention du Conseil fédéral.

CHECOSLOVAQUIA

- 1547      The values of the ratio  $^{90}\text{Sr}$  in vertebrae/ $^{90}\text{Sr}$  in diaphysis in different age groups.

---

Signatura del documento

País y título

---

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

1548 Environmental quarterly, 1 January, 1977, HASL-315.

1548/Add.1 Appendix to HASL-315.

REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE

1549 The data submitted by the United Kingdom to UNSCEAR for the 1977 report to the General Assembly.

UNION DE REPUBLICAS SOCIALISTAS SOVIETICAS

1550 Кинетика процессов поражения-восстановления, развивающихся в эмбрионах пресноводных рыб при инкубации их в радиоактивной среде.

1551 Некоторые особенности миграции стронция-90 по пищевым цепям в условиях крайнего севера.

1552 Радиоактивность внешней среды и пищевых продуктов на территории СССР в 1970-1974 гг.

1553 О влиянии пестицидной (ддт) интоксикации на кинетику обмена и натрия в организме крыс.

1554 Содержание трития в жидких средах и воздухе рабочих помещений АЭС СССР.

1555 Цезий-137 и стронций-90 в цепочке лишайник - олень человека на крайнем севере СССР.

1556 Стронций-90 глобальных выпадений в кости ткани населения Советского Союза за 1970-1973 гг.

1557 Содержание стронция-90 и цезия-137 глобального происхождения в пищевом рационе населения Советского Союза в 1970-1973 гг.

1558 Естественные радиоактивные нуклиды в пахотных почвах и фосфорсодержащих удобрениях.

1559 Влияние гормона паращитовидных желез на возникновение лучевых остеосарком.

1560 Метаболизм некоторых соединений углерода-14 в организме животных и подход к проблеме нормирования.



---

## كيفية الحصول على منشورات الأمم المتحدة

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

### 如何获取联合国出版物

联合国出版物在全世界各地的书店和经营处均有发售。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.

---