

INDEXED

Las Radiaciones Ionizantes y sus Efectos en la Población

**Lo que debe saber
el personal de salud pública**



OFICINA SANITARIA PANAMERICANA

Oficina Regional de la Organización
Mundial de la Salud

Washington, D. C. • 1959

Las Radiaciones Ionizantes y sus Efectos en la Población

Lo que debe saber el personal de salud pública

Traducción de la edición en inglés
publicada por la
ASOCIACION AMERICANA DE SALUD PUBLICA

Publicación Científica No. 43

Noviembre, 1959

OFICINA SANITARIA PANAMERICANA

Oficina Regional de la Organización
Mundial de la Salud

1501 New Hampshire Avenue, N.W.

Washington 6, D. C., E.U.A.

1959

Propiedad de la (Copyright, 1958)
Asociación Americana de Salud Pública
Traducido al español por la Oficina Sanitaria Panamericana
con el permiso de la Asociación

Este trabajo fue preparado por el Comité del Programa sobre Higiene Radiológica de la Junta de Desarrollo Técnico de la Asociación Americana de Salud Pública, con la generosa colaboración de varios asesores.

Miembros del Comité

PRESIDENTE: Dr. Daniel Bergsma

MIEMBROS: Dr. Ralph E. Dwork
Dr. Berwyn F. Mattison
Alexander Rihm, Jr.
Marcus Rosenblum

CONSULTORES: Byron Keene
Roy J. Morton, Ingeniero Civil
Blucher A. Poole

En cumplimiento de lo dispuesto en el Código Sanitario Panamericano, (La Habana, 1924) artículo 56, según el cual es función de la Oficina Sanitaria Panamericana "Suministrar a las autoridades sanitarias de los Gobiernos Signatarios, por medio de sus publicaciones o de otra manera adecuada, todos los informes disponibles relativos a los nuevos métodos empleados para combatir las enfermedades . . . ; el progreso realizado en cualquiera de las ramas de la medicina preventiva, así como otros informes relativos al saneamiento y sanidad pública en cualquiera de sus aspectos . . .", se ha traducido al español y se publica con autorización de la Asociación Americana de Salud Pública, esta edición de "Radiaciones ionizantes y sus efectos en la población", manual preparado por dicha Asociación. La Oficina Sanitaria Panamericana aprovecha esta oportunidad para expresarle su agradecimiento a la Asociación Americana de Salud Pública.

preámbulo

Pocas son las generaciones que han presenciado la aparición de un nuevo riesgo importante para la salud pública. Sin embargo, durante la pasada década, la utilización cada vez mayor de la energía nuclear para fines tanto pacíficos como militares, ha hecho que el mundo entero se preocupe por las radiaciones ionizantes.

Para poder hacer frente a este nuevo problema, los trabajadores de salud pública tienen que aprender un lenguaje nuevo: el léxico técnico del físico de las radiaciones; tienen que aprender una nueva serie de técnicas de protección: el empleo del espacio o del blindaje para protegernos a todos de las radiaciones nocivas; y, además, tienen que aprender a explicar al público estos nuevos fenómenos, de suerte que, sin amedrentarlo, lo convenzan y alienten para que apoye las medidas adecuadas de protección.

Este manual tiene por objeto presentar a los trabajadores de salud pública el tema del control de las radiaciones ionizantes dentro de los términos que se acaban de describir. No es un tratado para los expertos ni una obra de divulgación para los profanos. Su finalidad es ayudar a dar los primeros pasos en este campo a los trabajadores sanitarios que deseen imbuirse de esta nueva función que en el mundo cambiante de nuestros días incumbe a los organismos de salud pública.

Expresamos nuestro sincero reconocimiento y aprecio a muchas autoridades eminentes que nos han ayudado en esta labor, especialmente a Blucher A. Poole, Ingeniero Sanitario del Estado, Junta de Salud Pública del Estado, Indianápolis, Indiana, que examinó los borradores de este texto y aconsejó al Comité en problemas que eran objeto de dudas. Eugene Fite, director artístico de *Public Health Reports*, colaboró generosamente en los dibujos e ilustraciones de esta publicación.

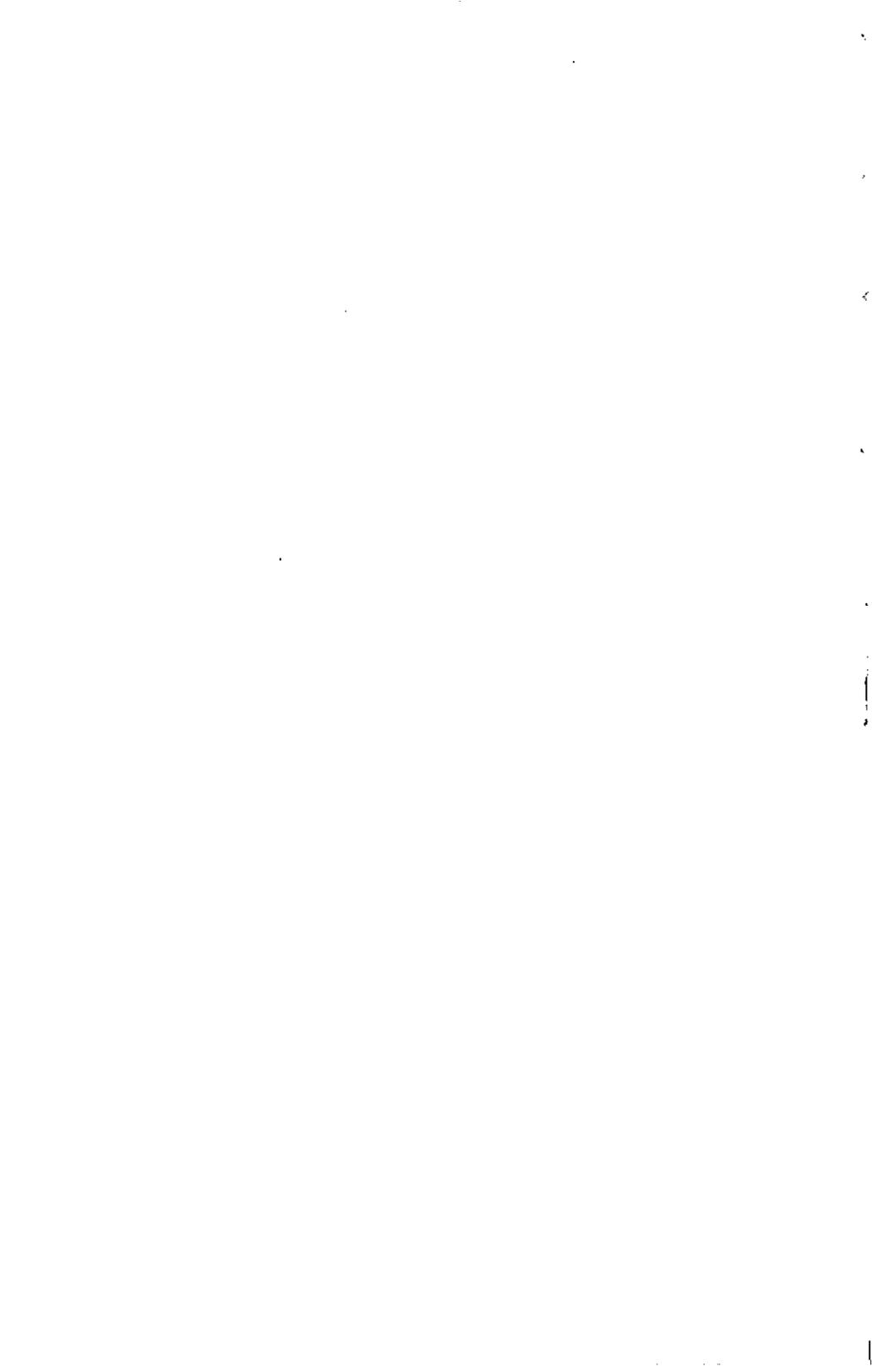
DR. DANIEL BERGSMAN

Comisionado de Salud del Estado
Departamento de Salud de
New Jersey. Trenton, N. J.



índice

Capítulo	Página
1. Significado de las radiaciones ionizantes a la luz de ciertos acontecimientos históricos.....	1
2. Carácter físico de las radiaciones.....	3
3. Efectos biológicos de las radiaciones.....	8
4. Cómo se miden las radiaciones.....	15
5. Aumento del uso de las radiaciones.....	21
6. Exposición total de la población.....	27
7. Hechos que deben tenerse en cuenta.....	30
8. Medidas de protección.....	44
9. Leyes y reglamentos.....	46
10. Resumen.....	48
Glosario.....	50



introducción

Advertencia al lector:

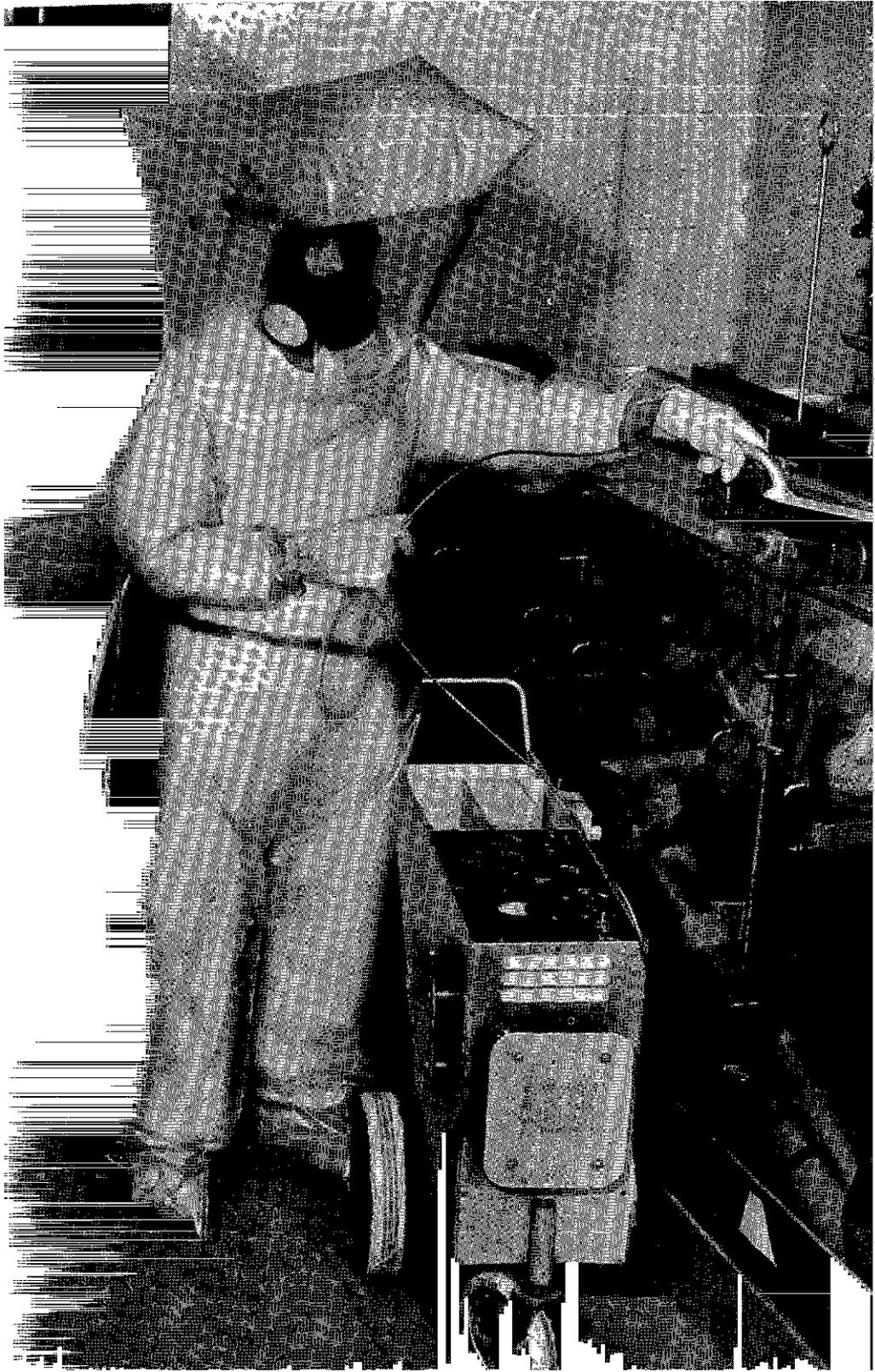
Este trabajo se ha escrito con la esperanza de que lo lean las personas interesadas en salud pública, sobre todo aquellas que se dedican a profesiones sanitarias. No está destinado a los especialistas encargados de proteger a la población contra las radiaciones, ni pretende adiestrar a nadie para ejercer esas funciones. No es un tratado ni aspira a ser exacto desde el punto de vista técnico. Su único propósito es inculcar en los lectores algunas ideas básicas de higiene radiológica.

La finalidad de esta obra es presentar a los trabajadores de salud pública ciertos conceptos fundamentales sobre las radiaciones.

Estos conceptos son indispensables para proteger a la población contra los peligros de las radiaciones, para emplearlas provechosamente y para evaluar los problemas públicos que plantean. Por ejemplo:

1. No se conoce exactamente cuál es el presente grado de peligro procedente de las actuales fuentes de radiaciones.
2. Es indiscutible el peligro potencial de las fuentes de radiaciones en tiempo de paz.
3. No existe la seguridad de que podamos prever todos los peligros posibles de las radiaciones.
4. Muchos efectos de las radiaciones tienden a ser acumulativos e irreversibles.
5. Es necesario impedir la exposición innecesaria a las radiaciones.

Aun formulados en términos tan generales, estos principios pueden servir de base a orientaciones que afecten directamente la práctica cotidiana de la salud pública. En las siguientes páginas se citan ejemplos para ilustrar lo que tales principios pueden significar en el orden práctico.



significado de las radiaciones ionizantes

En 1895, Wilhelm Röntgen, al hacer pasar una corriente eléctrica de alto voltaje a través de un tubo vacío, observó fortuitamente, en unos cristales de sal de bario próximos, que éstos resplandecían con brillo fluorescente. Colocó su mano entre el tubo y las sales y vio que aquélla, con la silueta de los huesos de sus dedos, proyectaba su sombra sobre las sales. Informó que esos efectos eran causados por una energía radiante invisible que denominó rayos X; que la fuente era una placa colocada en la trayectoria de la corriente en el tubo; que los rayos X velaban el papel fotográfico incluso si estaba muy envuelto, y que los cuerpos electrificados que se hallaban en la proximidad de los rayos X perdían su carga estática.

En 1896, Thomson sugirió que los rayos X electrifican (ionizan) el aire, produciendo pares de iones, negativos y positivos, que agotan esas cargas estáticas. Esa teoría proporcionó un método para medir la acción de los rayos X.

También en 1896, Becquerel informó que una misteriosa energía radiante procedente del uranio natural producía efectos análogos a los de los rayos X.

El hecho de que enormes cantidades de energía se hallan apriionadas en la materia fue revelado por Einstein en 1905 con su teoría de que la masa podía convertirse enteramente en energía, en forma de luz, calor y radiaciones ionizantes.

Fermi puso a prueba esta teoría el 2 de diciembre de 1942, cuando logró hacer funcionar con éxito la primera pila atómica en un laboratorio instalado en una antigua pista de juego de pelota del estadio de fútbol de la Universidad de Chicago. En ese reactor, los elementos estaban dispuestos de suerte que cuando un neutrón libre fisionaba un átomo de uranio, surgían más

Quando en un laboratorio se escapan átomos excitados, desde la puerta se desliza un detector a través de un túnel flexible, bajo presión positiva de aire para cerrar el escape.

neutrones que fisionaban otros átomos de uranio, liberando calor, luz, neutrones y radiaciones ionizantes.

Como resultado de esas investigaciones llevadas a cabo por especialistas de varios países, las radiaciones ionizantes se han convertido, para bien o para mal, en un factor de primera importancia en el mundo actual.

La alentadora esperanza de la energía que pueda obtenerse del átomo, de las fuerzas que encierra su núcleo, se ha visto ensombrecida por los problemas de seguridad de la población que las radiaciones atómicas plantean.

No es posible desconocer el hecho de que la ciencia ha liberado estas fuerzas y de que el hombre, en su actividad creadora, se ve obligado a usarlas. Por consiguiente, todos los servicios de salud pública tienen la misión de aquilatar los peligros de las radiaciones en comparación con los beneficios sociales que se obtienen de su utilización.

Esa misión entraña la obligación de informarse acerca de las radiaciones ionizantes (atómicas y nucleares) que nadie ve, oye o siente.

carácter físico de las radiaciones

El término "radiaciones" requiere de suyo cierta reflexión. La energía radiante tiende a propagarse en todas direcciones desde un punto de origen ("fuente puntual"), por líneas correspondientes a los radios de una esfera. La palabra "radiaciones" se emplea para designar este modo de transmisión de energía. También indica la energía misma (v. *Radiaciones* en el Glosario).

Radiaciones ionizantes

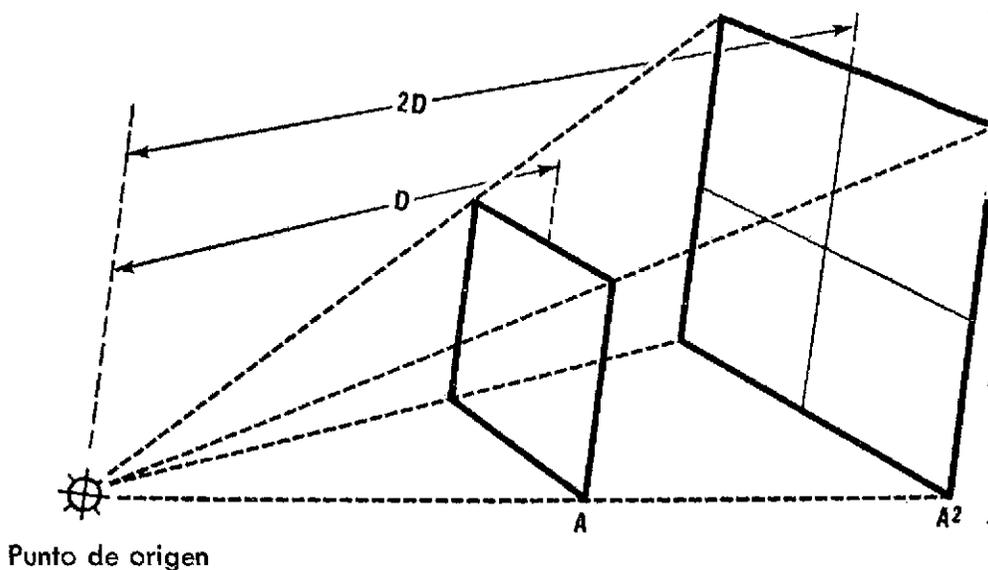
Los servicios de salud pública se preocupan especialmente por las radiaciones que tienen efectos "ionizantes", o sea, aquellas cuya energía puede penetrar en un átomo o molécula, alterar su estructura y producir partículas de carga eléctrica apareadas en iones positivos y negativos. Si se originan en el núcleo, en el centro del átomo, su denominación correcta es "radiaciones nucleares". Los rayos cósmicos procedentes del espacio interplanetario son una de las formas principales de radiaciones ionizantes de elevada penetración energética que existen en la naturaleza. Otras radiaciones nucleares naturales son las que se desprenden de elementos radiactivos (radio, uranio, torio, polonio y otros), a los que es preferible denominar radionúclidos que isótopos radiactivos.

Distancia, blindaje y tiempo

Dada la naturaleza de las radiaciones ionizantes, los tres factores básicos de protección contra sus efectos biológicos son distancia, blindaje y tiempo.

Así como la intensidad de la luz disminuye con la distancia de

una llama, la intensidad de las radiaciones está en proporción inversa al cuadrado de la distancia del punto de origen, porque la energía se propaga por zonas más amplias a medida que aumenta la distancia.



El grabado muestra que a un metro de distancia de un punto de origen la energía se propaga sobre un metro cuadrado; y a una distancia de dos metros, sobre 4 metros cuadrados. Dicho de otro modo: su intensidad a dos metros es un cuarto de la que tiene a un metro. Por consiguiente, la intensidad disminuye según el cuadrado de la distancia; en realidad, es menor aún de lo que la distancia indica, porque, a medida que las radiaciones se alejan del punto de origen, encuentran átomos que absorben su energía, no como una escollera ante el choque de una ola del mar, sino mediante una compleja interacción.

Ciertos materiales absorben radiaciones con mayor facilidad que otros. Suponiendo que un blindaje de plomo de una pulgada de espesor detenga la mitad de los rayos X procedentes de una fuente dada, uno de 2 pulgadas detendrá tres cuartos y uno de 3

pulgadas detendrá siete octavos. A medida que aumenta su espesor, el blindaje alcanza rápidamente su efecto práctico máximo. Por consiguiente, tanto el blindaje como la distancia proporcionan una protección parcial contra las radiaciones.

El tercer factor de protección, el tiempo, no es en este orden de cosas "el gran remedio". Cuanto más breve es el período de exposición a una determinada fuente de radiaciones, tanto menores son los efectos.

Fuentes artificiales de radiaciones

Los radionúclidos artificiales se producen de tres modos: 1) por fisión de átomos pesados tales como el uranio, 2) por bombardeo de ciertos átomos con partículas de gran energía, y 3) procurando que los neutrones térmicos sean capturados por ciertos átomos.

Sin embargo, los radionúclidos no son las únicas fuentes de radiaciones artificiales. Estas pueden producirse también por ciertas máquinas de alto voltaje, por ejemplo, los tubos de rayos X.

Cualquiera que sea el método con que se produzcan radiaciones ionizantes, la verdadera fuente de origen es el átomo. En los radionúclidos, el átomo libera energía por autoexcitación; otras fuentes de radiaciones, tales como los tubos de rayos X, requieren alguna fuerza externa que excite el átomo que ha de liberarlas.

De las diversas clases de radiaciones ionizantes, las que más interesan a los trabajadores sanitarios son las alfa, beta y gamma y los rayos X. Tienen menor importancia los componentes nucleares, tales como los neutrones.

1. Rayos alfa

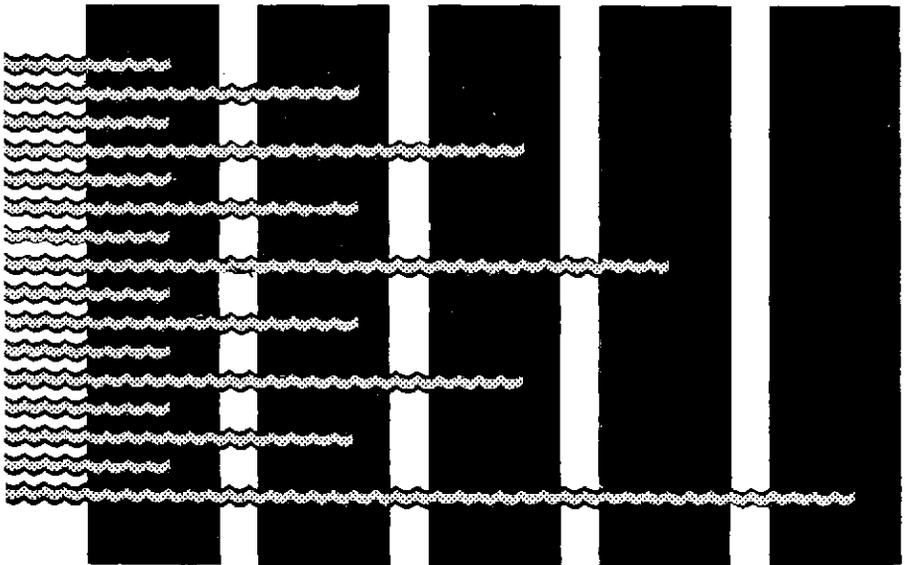
Las radiaciones alfa se componen de partículas cargadas, de alta energía, que se desprenden de elementos como el radio, popularizado por su uso en la fabricación de esferas luminosas de relojes. Aunque su potencia ionizante es de unas 100 veces superior a la de los rayos beta y 10.000 veces a la de los gamma, las radiaciones alfa alrededor del cuerpo no constituyen un riesgo sanitario importante por su escasa potencia para penetrar en los tejidos. En cambio, pueden ser muy nocivas si su fuente se ingiere, se inhala, se fija en la piel o se introduce debajo de ésta.

2. Rayos beta

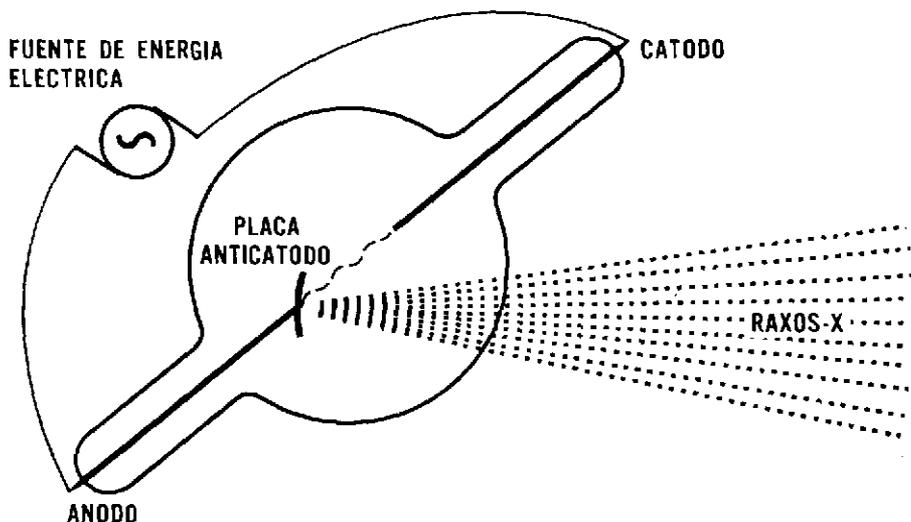
Los rayos beta son partículas desprendidas a altas velocidades por el radioestroncio y otros elementos. No son tan pesadas como las partículas alfa. Los rayos beta pueden causar daños internos substanciales si su fuente se ingiere o inhala en cantidad suficiente. La exposición externa a partículas beta ha ocasionado una cantidad relativamente importante de daños a la piel, a veces bastante graves. Hasta la fecha, los rayos beta han producido probablemente más efectos accesibles a la observación clínica—quemaduras de piel—que ninguna otra forma de radiaciones, con excepción de los rayos X. Los rayos beta penetran más fácilmente en los tejidos que los alfa, pero menos que los gamma.

3. Rayos gamma y X

Los rayos X no pueden distinguirse, por sus efectos, de las radiaciones gamma. Por lo general, los rayos X proceden de una máquina de alto voltaje y los rayos gamma de materias radiactivas. Científicamente, se distinguen porque los rayos X se liberan de la nube electrónica existente alrededor del núcleo del átomo, mientras que los rayos gamma se liberan del núcleo mismo. Los rayos energéticos gamma y X tienen extraordinaria potencia para penetrar en los tejidos; como protección parcial contra ellos, se



Absorción exponencial de rayos gamma



utiliza un blindaje grueso y relativamente pesado. La mayoría de las lesiones graves por radiaciones causadas hasta ahora por fuentes crónicas exteriores al cuerpo, han sido debidas a rayos gamma o rayos X.

Los X y los gamma penetran en tejidos capaces de detener en su superficie los rayos alfa o beta. Su poder penetrante es tal que puede haber exposición en personas no protegidas que se hallan en habitaciones contiguas a las fuentes. Por ejemplo, en un hospital, una fuente de rayos gamma se guardaba en una sala con paredes de plomo, pero como el techo y el piso no estaban blindados, una sala de obstetricia en el piso superior estaba sujeta a exposición crónica. En una clínica, el haz de rayos X pasaba a través de una pared sin blindaje hasta una sala situada al otro lado de un patio angosto.

4. Neutrones

Existe además otra emanación potencialmente peligrosa que procede del núcleo del átomo: el neutrón libre, que se encuentra en la inmediata proximidad de ciertas máquinas experimentales, como los ciclotrones o reactores de fisión nuclear. Los neutrones causaron muchas lesiones en Hiroshima, pero no constituyen hoy un riesgo importante desde el punto de vista sanitario.

efectos biológicos de las radiaciones

¿Cómo afectan las radiaciones al organismo? Las lesiones resultan, directa o indirectamente, del daño causado a sus células.

La generación actual y las futuras

Las células son de dos clases: somáticas (corporales) y germinales (de reproducción o semilla). Ambas contienen materiales (cromosomas y genes) que transmiten la semejanza de la célula madre a las filiales. Pero sólo las células germinales transmiten rasgos de los padres a los hijos o nietos. Los cambios en las células somáticas no se transmiten a los hijos; pero las células germinales alteradas por las radiaciones, si no quedan tan gravemente dañadas que no puedan sobrevivir, persisten hasta que sus portadores dejan de reproducirse o hasta que accidentalmente se interrumpe la línea de herencia.

Lesiones directas e indirectas

Las lesiones directas resultan de la ionización de una célula por las radiaciones. De ordinario, solamente algunos átomos entre los millones de millones de moléculas de la célula corriente se excitan e ionizan por interacción con radiaciones.

Si una célula de tamaño promedio se expone a 1.000 roentgens (r), solamente una molécula entre 10.000.000 se carga eléctricamente durante una diezmilésima de segundo. Aun así, una célula expuesta a 1.000 r experimenta aproximadamente 1.000.000 de esas cargas. De ordinario, las exposiciones son tan bajas que las dosis se expresan en miliroentgens (mr). Un mr en una célula no produciría más que una sola ionización, con pocas probabilidades

de efecto duradero, puesto que el cuerpo tiene varios billones de células.

A menudo, la célula muere a consecuencia de la interacción con radiaciones, sin que de ordinario se note la pérdida. Si solamente se debilita, sus deficiencias pueden ser compensadas por otras células. Sin embargo, una célula afectada puede iniciar una compleja cadena de impulsos que en definitiva provoquen un deterioro biológico. Si cambia de forma y crece anormalmente, el defecto puede aparecer lentamente y por años permanecer latente e insospechado.

No obstante, a medida que crecen y se reproducen, las células dañadas pueden duplicar y multiplicar los defectos inducidos por la interacción con radiaciones. Por ejemplo, el daño que los rayos X causan a los dedos de los dentistas, se produce años antes de que los dedos puedan perderse a consecuencia de los cambios tisulares. Las lesiones celulares pueden afectar tejidos, órganos y, hasta cierto punto, el organismo entero.

Los efectos indirectos provienen de alteraciones en la actividad química de las células dañadas. Si las células afectadas por radiaciones dejan de funcionar normalmente, pueden producirse cambios en el cuerpo a causa de alteraciones en los líquidos, enzimas y hormonas del mismo. La alteración de ciertas sustancias esenciales en los procesos bioquímicos, como las enzimas, puede tener por resultado trastornos metabólicos de importancia.

Envejecimiento

Si una acumulación de pequeñas dosis repetidas de radiación tiene en el hombre el mismo efecto de envejecimiento y acortamiento de la vida que el observado en ratones y otros animales de laboratorio, es probable que los síntomas sean más bien subclínicos que repentinos o espectaculares. Es probable también que haya alguna reducción de vigor e inteligencia, viveza y vitalidad, así como de resistencia a la infección. Las últimas estimaciones indican que la reducción de la vida humana puede oscilar entre 1 y 21 días por r de exposición acumulada en todo el cuerpo. Muchos opinan que los efectos de acortamiento de la vida producidos por radiaciones pueden ser el factor crítico que limite su empleo.

Mutaciones

Es probable que el efecto indirecto de las radiaciones en las generaciones futuras sea semejante a su efecto debilitante sobre la generación actual. Hay pocos motivos para prever que nazcan monstruos raros. Los defectos tangibles que aparezcan en las nuevas generaciones se parecerán a los ya conocidos, salvo que pueden ser más numerosos.

Normalmente, todos tenemos algunos genes dañinos. Por fortuna, pocas veces se aparean en ambos padres y, por lo tanto, raramente se encuentran en los hijos en la condición "doble" o apareada que se requiere para que surjan los rasgos dañinos. Pero las radiaciones aumentarán el número de éstos.

Se estima que si la exposición de las gónadas a las radiaciones continúa al ritmo actual, es probable que durante esta generación la incidencia de defectos tangibles aumente en unos 800 por año por cada 4.000.000 de nacimientos; y que con el tiempo, quizá en 30 generaciones, ese aumento llegue hasta 8.000 por año, lo que representaría un 10 por ciento adicional a la actual incidencia de alrededor de 80.000 con defectos tangibles por 4.000.000 de nacimientos. El acortamiento de la vida o los efectos debilitantes en las generaciones futuras aumentarían en proporción a la exposición gonádica de las generaciones paternas. Pero estos efectos deben ser considerados en relación con las ventajas que para la salud y la expectativa de vida resultan del uso científico de las radiaciones en el diagnóstico, tratamiento e investigación. Los efectos genéticos se producen en proporción a la dosis total acumulada, no tienen umbral y son irreversibles.

Efectos agudos y crónicos, y restablecimiento

Las observaciones anteriores sobre el acortamiento de la vida se refieren solamente a la exposición crónica de poca intensidad. La exposición aguda de tejidos esenciales a altas dosis de radiación por un período breve, puede producir síntomas agudos y rápidos. Asimismo, está probado que, aunque el cuerpo se restablezca de ciertos efectos de las radiaciones, no hay reversión de la acción genética sobre las células somáticas o germinales.

Esto podría explicarse por el hecho de que mientras la exposición

aguda mata muchas células que con el tiempo son substituidas por células sanas, otras que sufren lesiones menos graves pero que contienen material genético deteriorado, pueden reproducirse en forma dañada y persistir como impedimento para todo el organismo.

Reacción de los tejidos

No es fácil explicar el hecho de que ciertos tejidos reaccionen más que otros a la irradiación. No se trata únicamente de la facilidad con que absorban las radiaciones, sino que tiene algo que ver con la tasa y química del crecimiento de las células, puesto que las de crecimiento rápido son más afectadas que las células que no se dividen. Desde luego que para el proceso fisiológico hay células más importantes que otras; y su deterioro, por ejemplo el de las germinales, tiene efectos que no guardan proporción con los que produce el deterioro de las otras. Respecto de las células somáticas, una consideración de primera importancia es que cuanto mayor sea la expectativa de vida del organismo al producirse la irradiación, tanto más probable será que sus efectos se acumulen y aparezcan en los años venideros. Por esta razón, la dosis que reciba un niño o una mujer embarazada, puede tener con el tiempo efectos de mucho mayor alcance que la dosis que reciba una persona anciana. Los niveles permisibles máximos, que se mencionan más adelante, tienen en cuenta esos desproporcionados efectos en edades y tejidos diferentes.

Efectos útiles

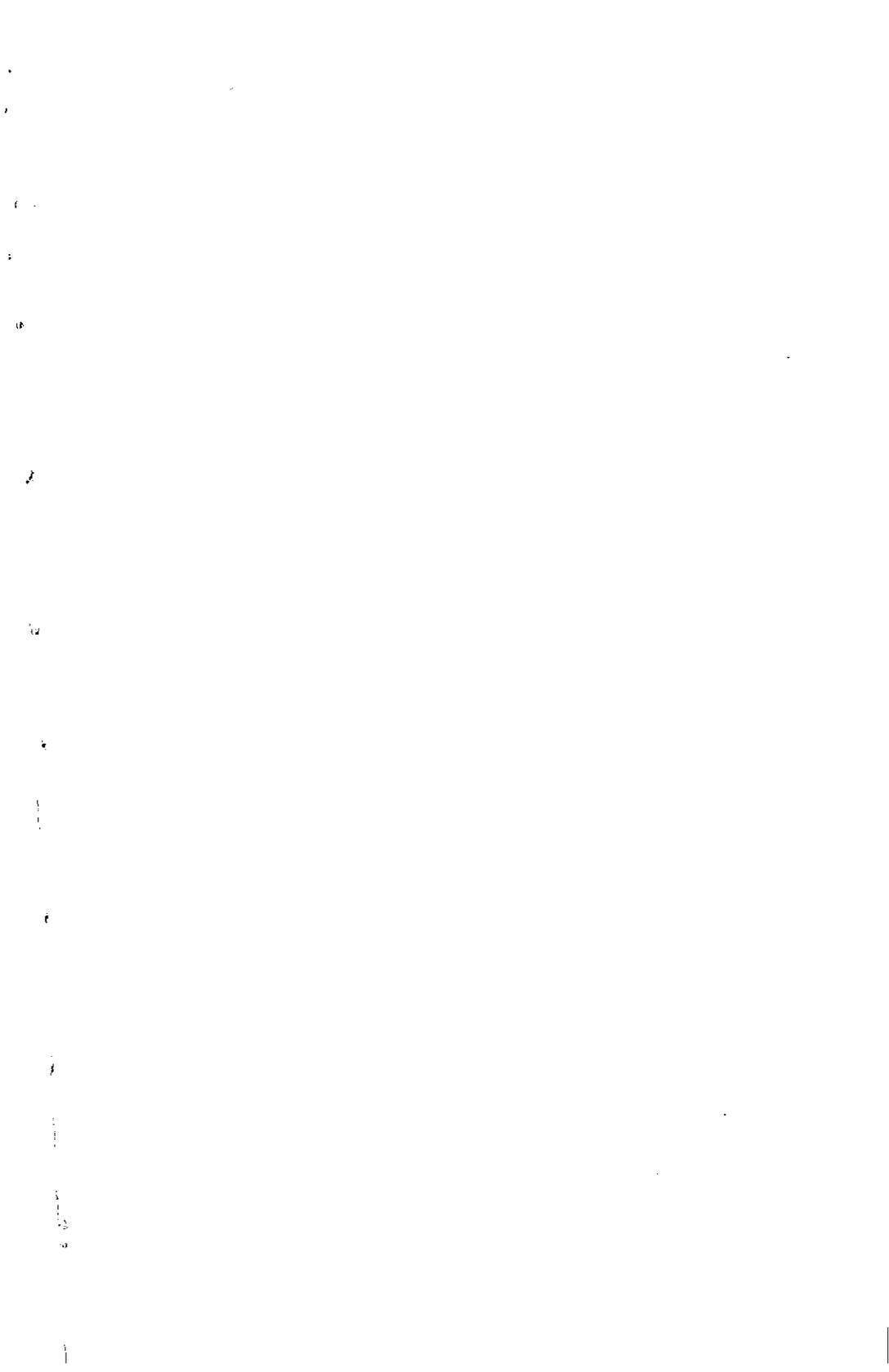
La utilización de las radiaciones con fines militares, médicos y científicos ha pasado a ser del dominio público. Se prevé que las radiaciones serán también de utilidad para la esterilización de alimentos, la generación de energía y los métodos de medición industrial. Todos estos usos, entre ellos los médicos, se han extendido cada vez más. Al mismo tiempo, con el acopio de experiencia y el perfeccionamiento tecnológico, se ha puesto mayor cuidado en impedir la irradiación innecesaria, a pesar de que el total de la exposición haya ido aumentando.

A menudo se ha formulado esta pregunta: si las radiaciones

pueden provocar el cáncer ¿por qué se emplean para tratarlo? La radioterapia tiene por objeto destruir las células dañinas. Las células malignas, que se dividen rápidamente, reaccionan a las radiaciones con mayor facilidad que las demás. Por consiguiente, la irradiación puede reducir el número de células malignas, de rápido crecimiento, sin causar un daño proporcional a células vecinas, de crecimiento lento. Además, el terapeuta hace que la irradiación se concentre en el tejido maligno.

Como es inevitable que todos los tejidos expuestos experimenten cierta reacción, los médicos están adiestrados para limitar la irradiación a los tejidos bajo examen o tratamiento.

En general, sólo los profesionales adiestrados son competentes para decidir cuándo está justificada la irradiación, y la forma de administrarla.





cómo se miden las radiaciones

En este campo de la salud pública se dispone de varias mediciones precisas de la exposición a la radiación y de algunas estimaciones de sus probables efectos en la población.

Unidades de medida

Están definidas con precisión en el Glosario. La principal unidad para medir la cantidad de radiaciones ionizantes de una fuente exterior al cuerpo es el roentgen (r). El miliroentgen (mr) es una milésima de roentgen. El r se define en términos del número de pares de iones producidos por las radiaciones, en determinadas circunstancias, en una unidad de volumen de aire. Como es raro que interese saber el número de pares de iones producidos en el aire, se han aplicado otras unidades de medida, por ejemplo el rem, que expresa tanto la magnitud de una dosis como su eficacia biológica relativa (EBR). El rad expresa la dosis de radiación absorbida, independientemente de su eficacia biológica relativa. El roentgen indica simplemente qué cantidad de radiaciones pasó por el punto de medición. Si se registra una dosis de 1 r y el punto de medición está en el dedo, puede suponerse que el dedo está expuesto a 1 r. El número de ionizaciones producidas por 1 r en todo el cuerpo, es mucho mayor que el de las producidas por 1 r en el dedo solamente, pero la intensidad de la dosis es de 1 r en ambos casos.

El curie (c) mide la cantidad de radiactividad. Un milicurie (mc) es una milésima de c; un microcurie (μc), una millonésima de

Correas de apomazar y aspiradoras de aire eliminan de los zapatos contaminados los átomos muy excitados. En el fondo, a la izquierda, hay un contador para manos y otro para zapatos, cuyo objeto es registrar si subsiste radiactividad.

c. Estas unidades indican cuántas desintegraciones se supone que ocurren en cualquier cantidad de materia radiactiva. Un μc representa 37.000 desintegraciones por segundo. Toda desintegración va acompañada de cierta descarga de radiaciones: alfa, beta o gamma, según la fuente. El μc es útil para expresar la cantidad de radiactividad dentro del cuerpo.

Límites de las radiaciones externas

El Comité Nacional de Protección contra las Radiaciones ha definido en el *National Bureau of Standards Handbook 59* la "dosis permisible" diciendo que es "la dosis de radiación ionizante que, a la luz de los conocimientos actuales, no se prevé que cause un daño apreciable a ninguna persona durante ningún período de su vida".

En enero de 1957 el Comité sugirió que "la dosis máxima permisible en las gónadas para la población entera de los Estados Unidos, procedente de todas las fuentes de radiación, incluyendo las médicas, otras fuentes artificiales y la natural del medio ambiente, no debe exceder de 14 millones de rem (hombre) por un millón de habitantes durante el período que media entre la concepción y los 30 años, ni de un tercio de esa cantidad en cada década subsiguiente. Deben establecerse los promedios para los grupos de población en que quepa esperar cruzamiento".

Esta dosis puede juzgarse por comparación con ciertas situaciones corrientes. Se ha observado que una sola radiografía dental produce hasta 5 r en la piel, pero sólo 5 mr llegan a las gónadas y al resto del cuerpo. En 30 años, la radiactividad de la esfera luminosa de un reloj de pulsera corriente puede añadir unos 300 mr a la dosis recibida en puntos adyacentes del cuerpo de quien lo lleva. El promedio de dosis de exposición gonádica total durante 30 años oscila en los Estados Unidos entre 5 y 13 r. (Véase capítulo 6).

Se citan concretamente las gónadas como lugar donde deben restringirse las dosis de radiación porque se supone que incluso la dosis más leve tendrá algún efecto sobre las futuras generaciones.

Dada la probabilidad de que las personas expuestas y su progenie se mezclen en la población sobre una base aleatoria, el

efecto en las generaciones futuras no se determina por las exposiciones máximas de los individuos sino por el promedio de exposición de la población. Una dosis gonádica de 100 mr en cada una de 10 personas de una población de 1.000 habitantes no afectará a las futuras generaciones más que en una dosis de 1 mr a cada una de esas 1.000 personas. Cuando existe endogamia aumentan las probabilidades de que los hijos tengan defectos tangibles, porque es más probable que en la segunda generación las células procreadoras lleven genes defectuosos que se apareen entre sí. Estos quedan apareados en los óvulos fecundados que forman la tercera generación.

Es más probable que los defectos genéticos aparezcan en los nietos y generaciones posteriores que en los hijos de los expuestos a las radiaciones.

Las recomendaciones del *Handbook 59* se refieren a la dosis, a los órganos expuestos y a circunstancias especiales de exposición.

Límites de las radiaciones internas

Los límites de la dosis máxima permisible procedente de fuentes de dentro del cuerpo (radiación interna) se exponen en el *Handbook 52* del citado *National Bureau of Standards*. Varían según el carácter de las radiaciones, el órgano importante afectado y la naturaleza y ubicación de la fuente. Por ejemplo, la eficacia biológica relativa de una dosis alfa es 20 veces la de una dosis beta o gamma. Los límites se señalan no sólo para las distintas partes del cuerpo, sino también para concentraciones en el agua y en el aire.

En igualdad de curies, las fuentes internas son mucho más peligrosas que las externas, porque:

1. Irradian el cuerpo continuamente hasta que son eliminadas.
2. Algunas se eliminan del cuerpo con lentitud, pues su "media vida" biológica (véase Glosario) es muy larga y no siempre puede acelerarse la tasa de eliminación.
3. Están en íntimo contacto con el tejido expuesto, de modo que una masa pequeña de tejido radiosensible en un órgano importante puede absorber una intensa dosis de radiaciones, entre ellas partículas alfa y beta.

Una enmienda al *Handbook 59* (8 de enero de 1957) señala que la concentración de fuentes internas de radiación en la población en general debe ser una décima parte de la correspondiente a exposiciones profesionales. Las razones de esta diferencia están relacionadas con la supervisión de la exposición, el número de niños y de embarazadas expuestos y el promedio de dosis gonádicas en la población.

La irradiación interna proviene de varias fuentes, tanto naturales como artificiales. Todavía no existe un acuerdo general sobre los probables efectos potenciales de la irradiación interna debida a las fuentes actuales. Sin embargo, para la epidemiología de las radiaciones, la presencia, características, distribución y concentración de emisores de radiaciones tienen tanto interés como el uso de los rayos X.

Cómputo de las dosis

Las observaciones sobre las dosis de radiación o sobre la exposición a ella, se prestan fácilmente a errores de aplicación y de interpretación.

Cuando las observaciones se refieren a las fuentes de las radiaciones, interesa conocer ciertos datos, tales como distancia, blindaje y tiempo, así como la clase de radiación y su energía.

Si se examina la irradiación, interesa saber si es interna o externa, individual o colectiva, única o repetida, de todo o parte del cuerpo.

Estos son algunos de los factores que hay que tener en cuenta al evaluar la importancia de las dosis que pueden recibirse a consecuencia de una exposición a radiaciones.

Para calcular y evaluar las dosis externas concretas, además de todos los factores ya mencionados, el médico o el físico tienen que considerar, entre otras cosas:

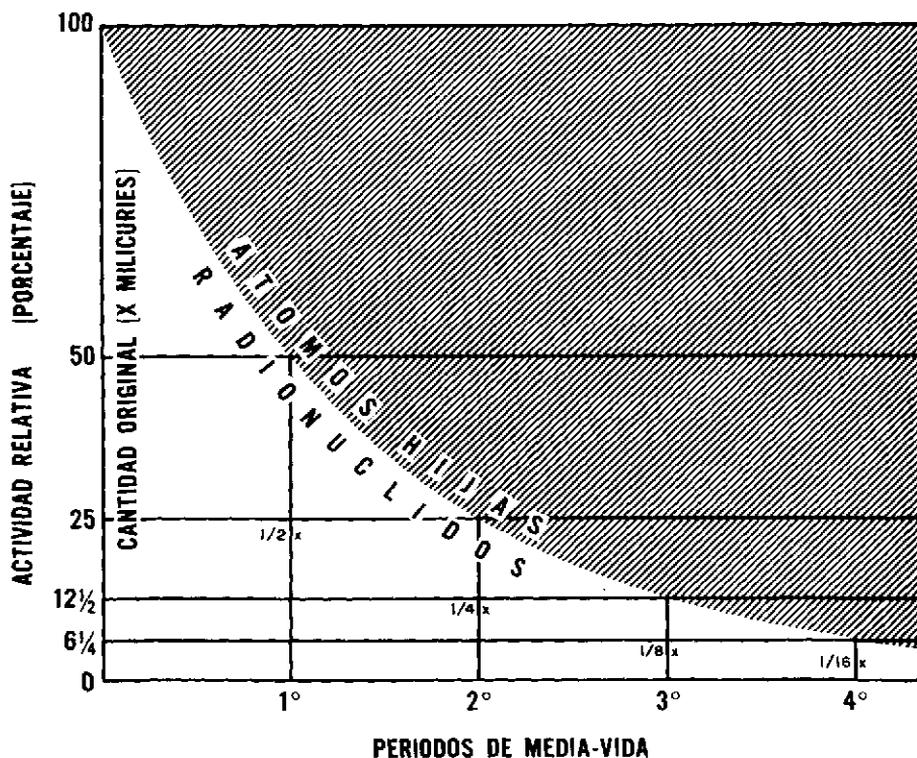
- Distancia de la fuente
- Cantidad y carácter de las radiaciones, su energía, potencial ionizante y poder de penetración
- Tejidos expuestos
- Período de exposición
- Historia clínica del paciente
- Cantidad, posición y probable efecto del blindaje

Por lo que respecta a la radiación interna, los cálculos tienen que ser más rigurosos aún. Las estimaciones se basan en estudios

efectuados con animales de laboratorio expuestos a cantidades controladas de radiación interna y en estudios de pacientes que por accidente inhalaron o ingirieron elementos radiactivos específicos. En los cálculos se tiene en cuenta igualmente la media-vida del radionúclido, cuya presencia se ha identificado, y su media-vida biológica. La información para proyectar los cálculos sobre la radiación interna se obtiene de la historia clínica del paciente, de los análisis radioquímicos del aliento exhalado, excretas, alimentos, agua y atmósfera; de los análisis de sangre y otras observaciones.

En todos los cálculos sobre radiaciones se emplean ciertas leyes de probabilidades. Por ejemplo, es de esperar que una dosis diaria en todo el cuerpo de 400-550 r, mate al 50 por ciento de los expuestos en el término de 30 días. Es aleatorio qué individuos fallezcan en 30 días. Pero hay que contar con que el 50 por ciento fallecerán en ese período.

Las leyes del azar determinan también cuándo un átomo dado desprende radiaciones. Eso sólo sucede una vez en la vida de cada



átomo: cuando se “desintegra” o pierde una parte de su masa o energía. Entonces se convierte en otra clase de átomo. Por ejemplo, el fósforo radiactivo 32 se desintegra en azufre-32 estable. Desde luego si el átomo hijo es radiactivo se desintegra también tarde o temprano.

El término “media-vida” se emplea para expresar el tiempo necesario para que la mitad de los átomos sufra desintegración radiactiva. Por ejemplo, se ha determinado que la mitad de los átomos de una muestra de yodo-131 se desintegrará (desprenderá radiaciones) en aproximadamente 8 días. En 16 días, los átomos residuales serán una cuarta parte ($\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$) del número original; en 24 días, serán un octavo ($\frac{1}{2} \times \frac{1}{4}$). En 60 días, la mayor parte del número original habrá descargado su energía radiante. Menos del uno por ciento del número original seguirá siendo radiactivo. Pero puede quedar todavía bastante yodo-131 para que lo registre un instrumento sensible. Incluso un milmillonésimo de gramo seguirá desprendiendo radiaciones durante un período considerable.

Los radionúclidos diferentes se desintegran a velocidades distintas. *Nada puede hacerse para influir en la tasa de desintegración.* El estroncio-90 tiene una media-vida de aproximadamente 20 años; el radio-226, de unos 1.600 años; el carbono-14, de unos 5.500 años; el uranio-235, de más de 700 millones de años. En cambio, la mitad de una cantidad dada de polonio-212 se desintegra en 0,0000003 de segundo. Estas cifras ilustran la gran diferencia de comportamiento de los núclidos así como las inimaginables dimensiones de tiempo, energía y masa que deben calcularse y evaluarse.

Para facilitar la medición de las dosis de radiación se han empleado calculadoras electrónicas. Es posible que la experiencia que se adquiera, permita que, para todos los fines prácticos, las dosis puedan llegar a estimarse con un número relativamente pequeño de mediciones. Por ahora, muchos peligros de las radiaciones son tan patentes que su identificación no requiere cálculos muy complicados. A los fines de la salud pública, la medición de la dosis suele tener menos interés que la apreciación del valor e importancia de la fuente. Puede decirse que toda fuente potencial de irradiación que sea controlable debe suprimirse si su aplicación no está justificada.

aumento del uso de las radiaciones

Al considerar la exposición de la población a las radiaciones, la primera cuestión que suele plantearse es la relativa a la dosis total de esa exposición en el lapso de una vida. Las estimaciones de la dosis total de la población son importantes para trazar las normas nacionales, pero la práctica sanitaria se basa primordialmente en el principio de que debe evitarse toda dosis innecesaria. Ya sea que la dosis acumulada de la población llegue o no al límite máximo de tolerancia, el objetivo de los profesionales de salud pública es limitar la dosis procedente de las fuentes controlables. ¿Cuáles son esas fuentes?

Desde 1895 han venido aumentando los usos de las radiaciones y de los elementos radiactivos. Cada día se recurre más al diagnóstico con los rayos X, a los que se considera como la principal fuente artificial de exposición externa. Por otra parte, pueden reducirse los peligros de las radiaciones médicas sin que su utilidad sufra la menor pérdida. Por ejemplo, es posible que una breve exposición con alto voltaje y bajo amperaje, permita usar más rayos X para el diagnóstico reduciendo al mismo tiempo su carga total de exposición. Se sabe que una radiografía completa de la boca produce hasta 350 r, pero en una universidad se ha logrado hacer con una exposición no mayor de 5 r.

El número de aparatos de rayos X existentes en los Estados Unidos en 1952 y a los que estaba expuesta la población se estimaba en 125.000.

Junto con el uso de la radiación para fines médicos y científicos, su aplicación industrial, los residuos radiactivos de las armas nucleares y los subproductos radiactivos de los reactores generadores de energía, son actualmente objeto de creciente atención como riesgos para la salud pública. (El Servicio de Salud Pública

distribuyó en 1952 un resumen provisional de las fuentes de exposición de la población).

El empleo de radionúclidos para marcadores de escasa actividad e irradiaciones de gran intensidad requerirá, según se calcula, millones de curies anualmente. Además de la Comisión de Energía Atómica, la industria privada producirá radionúclidos para el mercado estadounidense. Dicha Comisión ha autorizado a unas 60 empresas industriales e institutos de investigación para utilizar unos 300.000 curies de cobalto-60; y se prevé que en 10 años el uso de este solo núcleo aumentará a 10.000.000 de curies (10 megacuries).

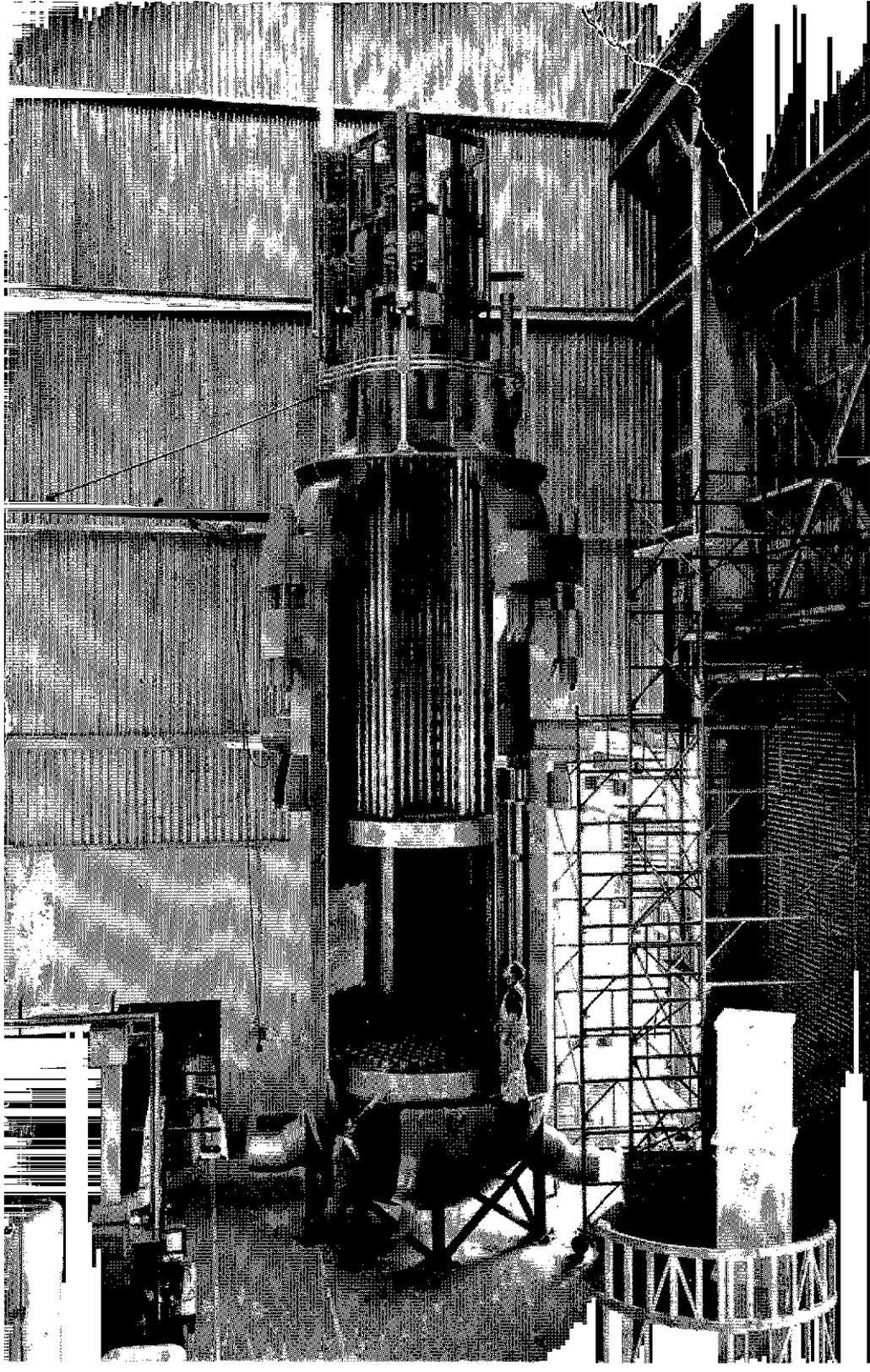
Este mercado se ampliará cuando se reduzcan los precios de los radionúclidos. Una autoridad en la materia ha calculado que el precio de un curie de cobalto-60 se reducirá a 6 centavos de dólar, a 30 el del cesio-137 y a 25 el del tritio, en vez de los \$10.000 que se pagó en el pasado por el curie de radio. Se prevé que estos materiales provocarán una revolución industrial. Pueden aportar decenas de miles de millones de dólares al poder productivo de la nación, o sea, muchos miles de millones más de lo invertido originalmente en investigación y desarrollo en este campo. Su valor para la investigación se ha equiparado al del microscopio.

La fuente principal de radionúclidos artificiales es el reactor nuclear. Pero no todos esos radionúclidos aparecen en forma útil. Los reactores producen también materia radiactiva que se considera como desecho. Es probable que en el futuro los materiales radiactivos resultantes de las operaciones de los reactores constituyan un problema importante para la salud pública.

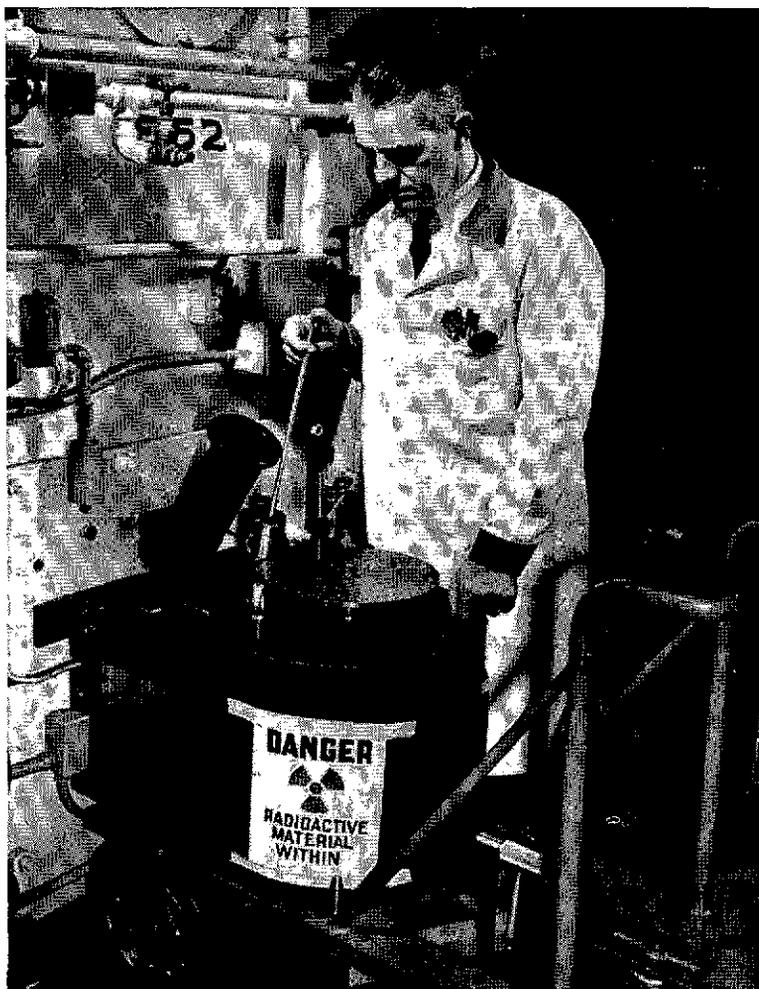
El 30 de junio de 1957 había en los Estados Unidos 267 reactores construidos, en construcción o en proyecto. Solamente la Marina de Guerra de este país se propone construir más de 75 reactores en los próximos 8 años. Además de los reactores que producen energía industrial en Calder Hall y otros lugares de la Gran Bretaña, otros se encontraban en construcción en 32 países con uranio suministrado por los Estados Unidos. Se ignora el número de reactores que existen en la zona Soviética.

En la actualidad, la mayoría de los reactores son instrumentos de baja energía utilizados para fines de investigación. Pero se ha autorizado la construcción de reactores de gran potencia cerca de Nueva York, Chicago, Detroit y Rowe (Massachusetts); y la

Vista de la parte central de un reactor sin combustible. Las barras de control modifican el espaciado del combustible y afectan así la absorción de neutrones y la velocidad de la fisión nuclear.



misma Comisión de Energía Atómica ha comenzado a construir más de una docena para la producción de energía en escala industrial, el mayor de ellos en Shippingport (Pensilvania).



Poniendo materiales en el centro de un reactor de investigación para irradiación experimental. En el rótulo indicador de PELIGRO hay una inscripción a mano que dice "¡Mucha atención!" El investigador lleva varios dispositivos para registrar las dosis en aire.

Según informó la Comisión de Energía Atómica, el 31 de diciembre de 1957 había un total de 305 reactores proyectados, en construcción, en funcionamiento o desmantelados. Ochenta y ocho de ellos eran de alta temperatura, productores de energía; 148 eran unidades de baja temperatura, apropiados para la investigación y el adiestramiento, y 60 estaban clasificados como instalaciones para "experimentos críticos". Había 28 desmantelados. De los 121 en funcionamiento, 14 eran generadores de energía, 2 de ellos lo suficientemente grandes para atender servicios públicos urbanos y empresas industriales. Hay en construcción 6 grandes reactores más, cinco de ellos en los Estados Unidos; y están proyectados otros 17 de la misma clase, doce de ellos en los Estados Unidos. Entre los generadores menores de energía que están funcionando, figuran los destinados al servicio de la Marina de los Estados Unidos. Desde luego, varios reactores han sido construidos por otros gobiernos, además de los establecidos por los Estados Unidos.

Bajo la jurisdicción de la Comisión de Energía Atómica y otros organismos gubernamentales de los E.U.A. funcionan varias instalaciones muy importantes, así como diversos reactores de investigación y producción, 2 reactores experimentales y 5 ó 6 generadores de energía, entre ellos los de propulsión de submarinos de la Marina de Guerra.

El ritmo de este desarrollo indujo a los directores de la revista *Nucleonics* a comentar que "la urgencia ... no estriba tanto en la necesidad de una nueva fuente de energía a bajo costo cuanto en la necesidad esencial que tiene este país de mantener su preeminencia internacional en materia de tecnología".

Si los reactores de energía en escala industrial resultan prácticos, parece probable que se establezcan sobre todo en aquellas zonas donde no haya la abundancia de energía hidráulica y de combustibles sólidos baratos que existe en los Estados Unidos.

Los directores de *Nucleonics* han vaticinado que en 1967 los reactores de los Estados Unidos representarán el 2,6 por ciento de la capacidad total de producción de energía eléctrica del país.

Sin embargo, una autoridad industrial ha dicho que "teniendo en cuenta solamente el aspecto económico, la próxima década no presenciara la instalación de muchas grandes centrales de energía

nuclear en los Estados Unidos". Otra ha afirmado que "en la próxima década se construirán más instalaciones de energía nuclear en el extranjero que en los Estados Unidos, porque allí las necesitan más y están económicamente más justificadas".

La energía nuclear puede resultar económica para las poblaciones que no tengan acceso a las fuentes de energía natural o a los combustibles fósiles. Sin embargo, donde quiera que se construyan reactores generadores de energía, sus productos radiactivos constituirán un peligro potencial para la salud pública del país y del mundo entero.

exposición total de la población

Al estimarse la exposición de la población a las radiaciones artificiales, su intensidad se compara con la debida a las procedentes de fuentes de radiación ambiente natural o de fondo (véase cuadro). La dosis de exposición de las gónadas a los rayos X utilizados con fines de diagnóstico y tratamiento, es para el norteamericano en general, durante su vida, casi igual a la cantidad de radiación ambiente natural, o sea la procedente de los rayos cósmicos y radionúclidos naturales de la corteza terrestre. La irradiación *externa* por otras fuentes artificiales, por ejemplo de los residuos de explosiones de armas nucleares (precipitaciones radiactivas), es por ahora relativamente ligera.

Se estima que por unos 30 años, la dosis gonádica de la población norteamericana será de un promedio aproximado de 4 ó 5 r, producidos por fuentes del medio ambiente y aproximadamente la misma cantidad por rayos X. La Comisión de Energía Atómica estima que si el ritmo de las pruebas militares sigue siendo el mismo que en el período 1950-1955, las radiaciones gamma en las gónadas, debidas a esas pruebas, llegarán a la mitad de un rem en 30 años.

Las dosis de irradiación *interna* por fuentes artificiales no han sido evaluadas todavía. En las estimaciones de los peligros de la radiación interna para la población, hay que tener en cuenta la cantidad y clase de radionúclidos que pueden llegar al ambiente, la probabilidad de que se concentren en una hoya hidráulica, cosecha, especie u órgano dados, y la de que puedan ser inhalados o ingeridos y retenidos y concentrados en los tejidos.

No hay acuerdo general sobre la cuestión de si es probable que

la dosis de la exposición total de la población a las radiaciones, llegue en un futuro próximo a rebasar niveles tolerables. Por ejemplo, en 1957, la Comisión Conjunta sobre Energía Atómica, del 85º Congreso de los Estados Unidos, declaró que “mientras no se resuelvan las diferencias (de criterio), parecería ... que si durante varias generaciones venideras, se continúan las pruebas (de armas nucleares) al ritmo de los 5 últimos años, podría sobrevenir un peligro para la población del mundo”.

Más o menos al mismo tiempo, en la reunión del Instituto Americano de Biólogos, un grupo de hombres de ciencia afirmó que si tales pruebas continúan al ritmo actual, el límite aceptable de exposición de la población del mundo se alcanzará en 1970.

Esas diferencias de opinión son características de la apreciación de las diversas fuentes de exposición. Incluso un solo individuo se permitiría razonablemente cierta latitud al hacer la estimación de los efectos de las radiaciones. Por ejemplo, el aumento final en el número de recién nacidos con defectos tangibles a causa de los actuales niveles de radiación, se ha calculado en cifras que oscilan entre 1.000 y 64.000 (lo más probable es que sean 8.000) por 4.000.000 de nacimientos.

En todo caso, al considerarse la dosis probable de radiación

Cuadro 1—Dosis Anual de Radiación Natural Ambiente. Según Estimaciones de Laughlin y Pullman

Fuente de radiación	Gonádica		Médula ósea	
	Milirads	Milirems	Milirads	Milirems
Rayos cósmicos	26 ± 3	26 ± 3	26 ± 3	26 ± 3
Tierra, vivienda	53 ± 20	53 ± 20	59 ± 20	59 ± 20
Atmósfera	2 ± 1	2 ± 1	—	—
Radiactividad interna:				
Rayos beta y gamma	18 ± 3	18 ± 3	5 ± 1	5 ± 1
Partículas alfa	0,5 ± 0,3	5 ± 3	4,5 ± 2	45 ± 20
Total		104 ± 21		135 ± 30

de una fuente dada, debe examinarse frente a su valor para la sociedad y evaluarse su importancia a la luz de sus probables efectos, su relación con la exposición total y el costo relativo que representaría su control o prevención. Sin embargo, ninguna exposición debe menospreciarse por el solo motivo de que sea "insignificante".

hechos que deben tenerse en cuenta

Los comentarios siguientes no pretenden resolver si determinadas radiaciones son benéficas o perjudiciales. Tampoco constituyen un resumen de los argumentos en pro o en contra de determinadas fuentes de radiaciones. Son simplemente puntos de vista que el lector debe juzgar por sí mismo.

1. Diagnóstico mediante rayos X

En su reunión de 1957, la Sociedad Americana Roentgen examinó como tema principal el uso sin riesgos de los rayos X. Nadie discutió el valor de dichos rayos en medicina ni objetó su empleo por radiólogos adiestrados u otros médicos calificados. Pero el presidente entrante y otros participantes denunciaron su utilización "negligente y sin escrúpulos"; los exámenes radiográficos innecesarios o efectuados deficientemente; la omisión de medios de protección para pacientes y personal; la falta de inspección del equipo o el hecho de que no se reemplace cuando resulte peligroso; la fluoroscopia regular de lactantes y niños; las pelvimetrías de embarazadas con rayos X, salvo por causa justificada, y la costumbre de que se permita la obtención y manejo de aparatos de rayos X a médicos sin suficiente adiestramiento o experiencia.

Como aspecto positivo se señaló que el equipo y métodos modernos son relativamente inocuos y permiten que el médico obtenga mejores lecturas con niveles de exposición notablemente reducidos.

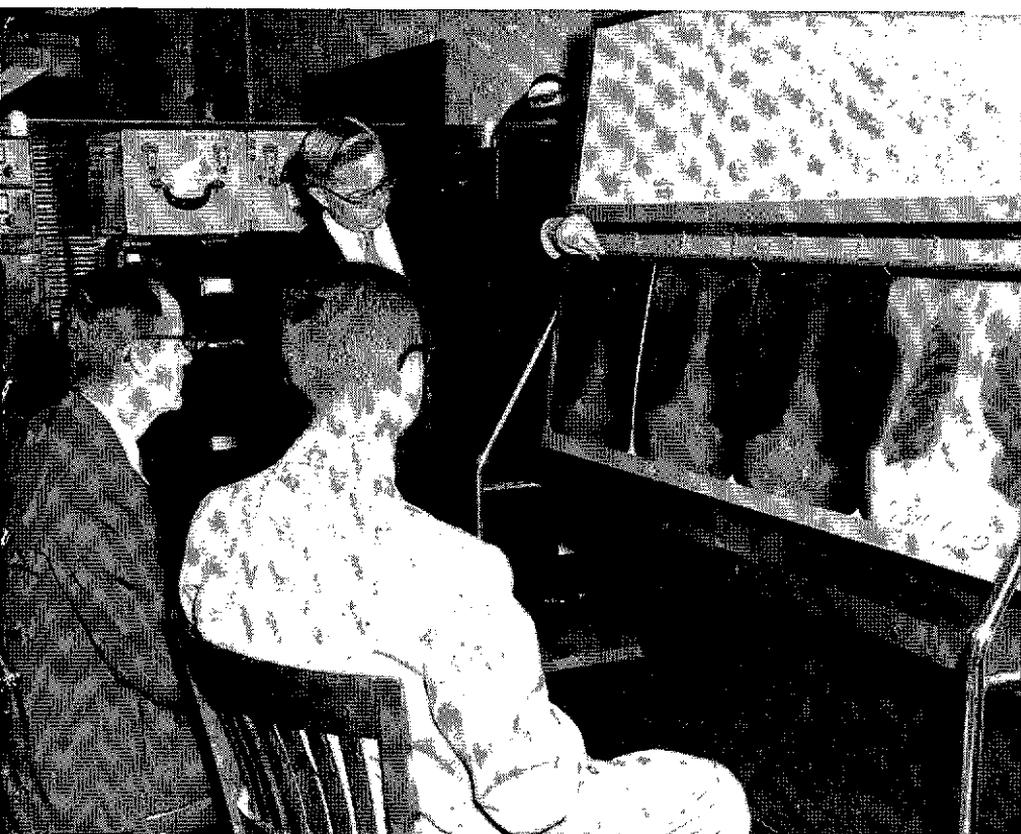
Los oradores recomendaron que la fluoroscopia no se use nunca como rutina para descubrimiento de casos sino sólo cuando sea

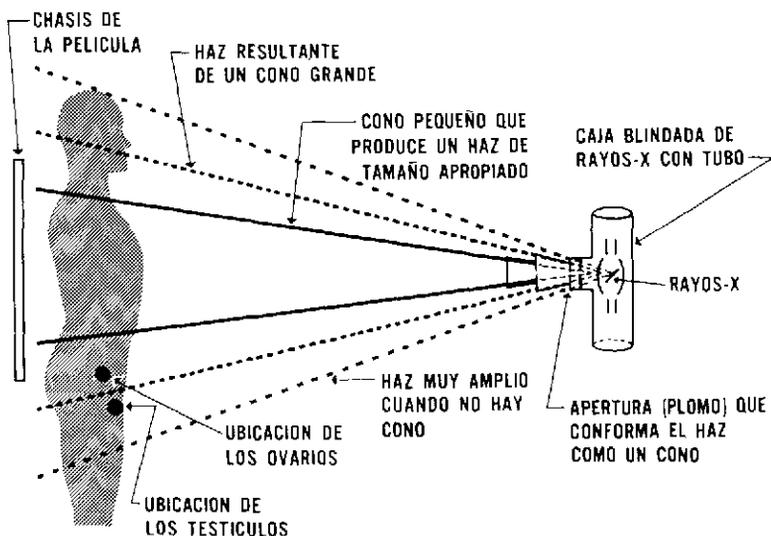
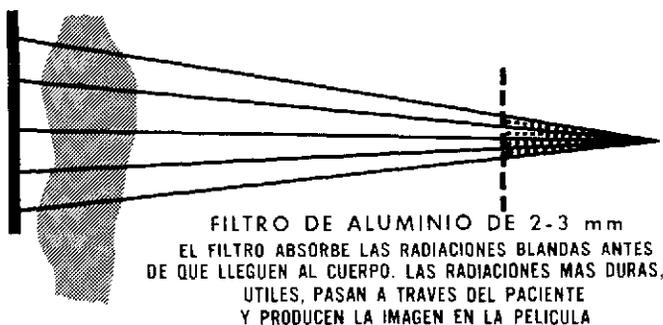
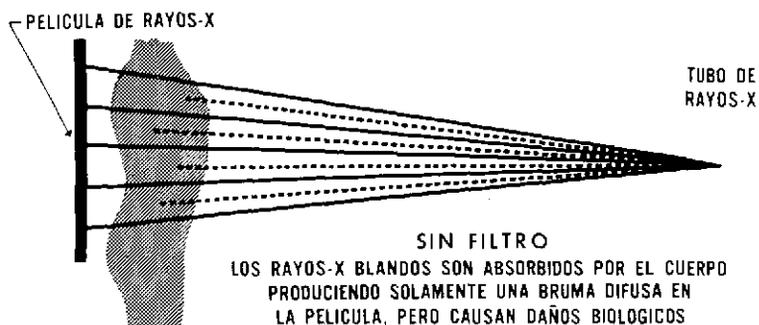
necesaria para observar movimientos y funciones orgánicas y hasta que el médico haya adaptado su vista a la obscuridad, lo que puede requerir 20 minutos o más.

En esa reunión se sugirió que los pacientes, antes de ser examinados con rayos X, deberían hacer al médico estas cinco preguntas:

1. ¿Es necesario el examen?
2. ¿Qué médico va a hacerlo?
3. ¿Ha recibido adiestramiento adecuado en radiología?
4. ¿Habrá un informe escrito del examen para que otros médicos puedan consultarlo?
5. ¿Posee el auxiliar técnico título oficial o ha recibido adiestramiento adecuado?

El empleo de rayos X en exámenes colectivos ha sido estudiado también a la luz del creciente aumento de la exposición. El examen radiológico de colectividades se usa muy a menudo para descubrir tuberculosis, cáncer, cardiopatías y otras dolencias torácicas. En 1955, el Colegio Americano de Radiología declaró que no lo





aconsejaba como medio práctico o eficaz para el descubrimiento del cáncer. Recomendó que se notificaran las afecciones cardíacas descubiertas en exámenes colectivos, como se había venido haciendo, pero afirmó que el número de casos descubiertos de este modo no justificaba que se siguiera empleando el examen por rayos X como método primordial para el descubrimiento de trastornos cardíacos.

La Asociación Nacional contra la Tuberculosis revisó en 1957 sus recomendaciones sobre los rayos X. Sugirió que para los exámenes colectivos se debían seleccionar aquellas poblaciones en las que se espera obtener un mayor número de casos nuevos de tuberculosis. Dicha Asociación ya no preconiza la radiografía anual del tórax para todos. La evaluación continua de las encuestas con rayos X parece estar muy indicada.

Entre otras prácticas radiológicas que deberían ser objeto de revisión profesional figuran la irradiación "profiláctica" del timo de los recién nacidos en la creencia de que protege contra la infección, y la aplicación de rayos X en los ovarios para "curar la esterilidad".

También merece estudio detenido la cuestión de la utilización de radiaciones por personal no médico, así como la del "espinógrafo" por los quiropractores.

2. Pesquisas

También se producen exposiciones colectivas a rayos X, a la entrada de ciertas fábricas, cárceles y otras instituciones, cuando se emplean fluoroscopios para el descubrimiento de objetos metálicos ocultos. Quienes pasan ante la pantalla se exponen sin saberlo, y es probable que los encargados de los aparatos no se percaten de la dosis de radiación que están administrando a las personas observadas o a sí mismos.

3. Aparatos de adaptar zapatos

Un miembro de la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones ha manifestado: "No debe alentarse la exposición de los seres humanos a ninguna radiación innecesaria; hay algunas que deben prohibirse terminantemente cuando no puede esperarse

Los conos, filtros, pantallas intensificadoras y películas sensibles reducen las dosis necesarias para el diagnóstico con rayos X, sin que la imagen pierda en detalle.

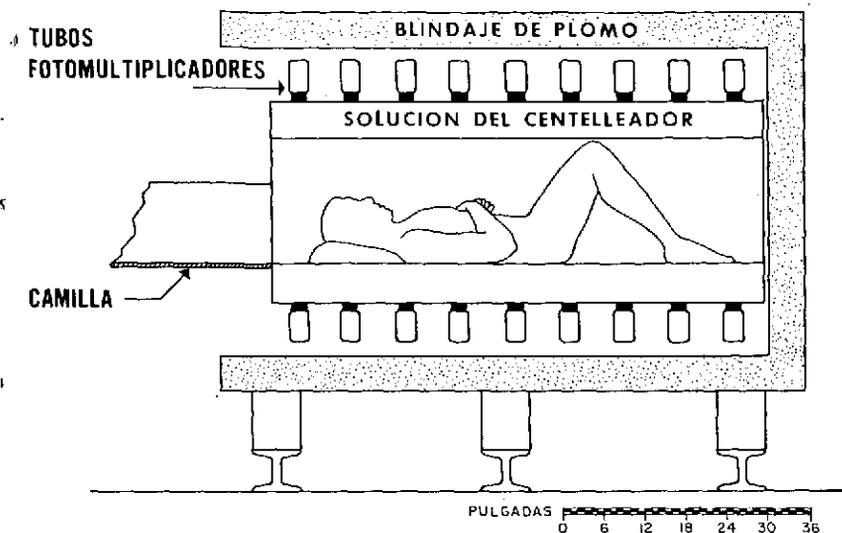
beneficio alguno de su utilización. Una situación de esta índole es la creada por fluoroscopios de rayos X para adaptar zapatos, toda vez que los profesionales competentes en ortopedia afirman que su uso no produce beneficio alguno”.

En algunos estados de la Unión, los aparatos de adaptar zapatos han sido retirados a consecuencia de una campaña educativa llevada a cabo entre los comerciantes al por menor, o por haberse dictado disposiciones que prohibían su utilización; pero han reaparecido en otros así como en laboratorios de física de escuelas secundarias. En 1952 se calculó que había 10.000 de estos aparatos en uso.

4. Investigación

No es necesario restringir el uso de las radiaciones para fines de investigación, pero debería ponerse mayor cuidado en su empleo por parte de laboratorios, hospitales, escuelas y otras instituciones.





Las radiaciones del interior del cuerpo de un paciente causan centelleos en el fósforo líquido, que está blindado contra la radiactividad externa. El "contador de cuerpo entero" registra estos centelleos mediante tubos fotoeléctricos y señala las fuentes principales.

En la investigación, como en la radiología médica, no cabe la menor duda de que la exposición a las radiaciones puede reducirse sin restringir su utilización.

Como fuentes de radiación para la investigación se emplean aparatos y radionúclidos. No se necesita autorización para usar los aparatos, mientras que la mayoría de los que emplean radionúclidos artificiales están sujetos a requisitos de licencia establecidos por la Comisión de Energía Atómica. Entre los aparatos de investigación figuran las unidades de difracción de rayos X, microscopios electrónicos, ciclotrones, aceleradores lineales y tubos de iones positivos.

El uso creciente de las radiaciones en la investigación requerirá también mayor número de operadores, monitores e inspectores adiestrados y competentes.

El hecho de que a veces se hayan perdido, extraviado o robado cantidades de radionúclidos, indica que estos materiales consti-

tuyen otro peligro para la población. Los derrames o filtraciones inadvertidos en laboratorios han contaminado el personal y el ambiente.

5. Radioterapia

Como antes se ha indicado, solamente el radiólogo y otros médicos debidamente adiestrados son competentes para evaluar la radioterapia. Los funcionarios de salud pública se han pronunciado por lo menos en un caso en que se propuso la radioterapia colectiva. Se opusieron a un plan para combatir la tiña en un gran número de niños en edad escolar por medio de rayos X blandos aplicados en el cuero cabelludo, fundándose en que, si bien el tratamiento podía ser eficaz, el riesgo inherente no estaba en proporción con las posibilidades de curación. Todos los programas colectivos en los que usen rayos X requieren un examen crítico.

Los "manantiales de radio" y las "cuevas de radio", objeto de tanta publicidad, son formas de exposición de la población que probablemente no tengan efectos muy extensos. Sea como fuere, hay pocas probabilidades de que un buen juicio médico preconice esa clase de "tratamientos".

6. Radioquímica y radiobiología

Uno de los usos más importantes de las radiaciones en la industria es la irradiación de gran energía para alterar la estructura química; por ejemplo, el polietileno irradiado posee propiedades que no tiene en su forma ordinaria. La irradiación de gran energía puede servir también para destruir microorganismos en los alimentos, drogas o productos biológicos. Ese empleo puede ser una fuente potencial de exposición profesional.

El uso industrial de radionúclidos como marcadores, por ejemplo, para seguir las distintas operaciones en una refinería de gasolina o para observar reacciones químicas o biológicas plantea otro problema: Por pequeños y efímeros que sean esos marcadores, su evaluación debe hacerse teniendo en cuenta dos factores: su utilidad y la carga total de radiaciones que desprenden en el ambiente público.

7. Radiografía industrial

Pocos usos de las radiaciones han sido objeto de tanto interés como su aplicación para buscar grietas en los metales y para medir el espesor de los mismos. Los descuentos en las primas de seguros han constituido para las compañías de construcción un fuerte incentivo para utilizar las radiaciones en la prueba de estructuras de acero. No hace mucho tiempo, el empleo negligente de las radiaciones con ese objeto dio lugar a demandas de indemnización entabladas por obreros y a la intervención de los funcionarios de salud pública. Pero mucho más importante que la reclamación de indemnizaciones es el daño público que podría resultar de la utilización inadecuada de estas fuentes de radiación.

8. Eliminadores de estática

Durante años se han usado radionúclidos naturales para descargar la electricidad estática que se desarrolla en el papel en las prensas de imprimir y en diversas operaciones de las industrias textil, fotográfica y de comunicaciones. Hasta estos últimos años, los servicios de salud pública no prestaron gran atención a los posibles peligros procedentes de estos usos. Las inspecciones han descubierto exposiciones de importancia local, pero son peligros que suelen ser fáciles de prevenir.

9. Tubos de televisión

Los estudios sobre televisores corrientes no han indicado irradiación importante en niños que pasan muchas horas al día cerca del aparato, como es habitual en ellos. Los receptores de alto voltaje, entre ellos los de colores, requieren blindaje especial que absorba las radiaciones; los que hay actualmente en el mercado han sido diseñados adecuadamente por los fabricantes.

10. Esferas luminiscentes

Ya se han mencionado antes las esferas luminiscentes a base de radio como fuente probable de exposición. Debería estudiarse si este riesgo, aun siendo de poca monta, está justificado por las ventajas que tales esferas proporcionan. La exposición profesional

en la industria es importante para el individuo, pero de significación sanitaria relativamente pequeña. Por otra parte, puede haber exposición interna al radio como resultado de instrumentos luminiscentes tirados, estropeados o abandonados, pero si las ha habido, no es probable que hayan tenido efectos considerables para la salud pública.

Hay radionúclidos artificiales que pueden reemplazar el radio en la pintura luminiscente. Este puede ser uno de los usos industriales más importantes de ciertos productos de los reactores.

11. Baterías nucleares

En la actualidad, el número de baterías o lámparas atómicas existentes es demasiado reducido como para constituir un riesgo público. Su desarrollo hace abrigar alguna esperanza sobre la posibilidad de generar energía en escala industrial. Sin embargo, a juicio de la mayor parte de los expertos, esa esperanza no es hoy tan brillante como la luz de la lámpara atómica.

12. Reactores nucleares

Los posibles peligros estriban en las operaciones ordinarias de extracción y trituración de minerales, en la preparación del combustible para los reactores, en el funcionamiento de éstos y en la regeneración del combustible consumido. Estas operaciones son interdependientes. La carga de exposición de la población que eventualmente resulte de las actividades relacionadas con los reactores nucleares constituye el peligro de radiación más grave que puede preverse en tiempo de paz.

No es necesario dominar la tecnología del diseño y funcionamiento de los reactores para apreciar el hecho de que en el proceso de fisión se utilizan, engendran y descargan materiales radiactivos. No es cosa fácil encontrar la solución adecuada para impedir que como resultado de este proceso lleguen al ambiente público cantidades excesivas de radiactividad.

Hay que rendir tributo a los proyectistas, constructores y encargados del funcionamiento de los reactores, que en los Estados Unidos han logrado mantener un excelente "record" de seguridad. En condiciones experimentales ha habido muy pocos accidentes de reactores.

Todavía no hay experiencia suficiente para establecer el riesgo probable procedente del funcionamiento normal de los reactores generadores de energía en escala industrial.

Los peligros de los reactores de investigación de pequeña potencia son muy inferiores a los de los reactores experimentales y generadores de energía.

Aunque los riesgos derivados del funcionamiento normal de los reactores resultan considerables, son todavía mayores en aquellas instalaciones donde se manipulan combustibles de desecho del reactor, los que contienen la parte más importante de la radiactividad producida por éste.

El Presidente del Comité Asesor sobre la Seguridad de los Reactores, de la Comisión de Energía Atómica, al expresar gran preocupación por los peligros de la construcción y funcionamiento de reactores, señaló lo siguiente: "Siempre y cuando el diseño del reactor sea adecuado y haya suficiente supervisión, el riesgo es mínimo. Pero existe la posibilidad de que en el futuro se construyan reactores por organizaciones menos capacitadas, con menos recursos financieros y de personal ... Algunas de las empresas serán completamente inexpertas en estos asuntos. ¿Cómo podrá tenerse la seguridad de que comprenden debidamente las características de los reactores a su cargo? ...

"Uno de los problemas más importantes de la industria en nuestros días consiste en desarrollar un criterio adecuado en cuanto a la seguridad de los reactores, para proteger debidamente a los empleados y a la población ...

"Los reactores pueden funcionar de suerte que la radiación que desprendan sea tan pequeña como la procedente de fuentes naturales. Pero subsiste el hecho de que se necesita conocer mejor los efectos de las diversas formas de radiación en la salud, la longevidad y la herencia ... Es preciso encontrar procedimientos económicos para separar y eliminar los isótopos radiactivos más peligrosos".

Los elementos combustibles de desecho de los reactores contienen productos de fisión que pueden mantenerse radiactivos durante miles de años o más. Es necesario impedir que una cantidad importante de esos átomos radiactivos penetre en la cadena biológica. Si los productos de fisión se colocan en un recipiente, es preciso saber si éste durará más que la radiactividad. El calor, las radiaciones y las presiones de los gases producidos por los pro-



ductos de fisión pueden acortar la duración del recipiente. En la actualidad, la práctica predominante consiste en almacenar dichos productos en tanques.

Una carta pesimista sobre la eliminación de los desechos radiactivos indujo a los directores de *Nucleonics* a publicar, en noviembre de 1957, una serie de opiniones de personas concededoras del asunto.

El Jefe de Ingeniería Sanitaria de la Comisión de Energía Atómica se mostró optimista sobre la posibilidad de encerrar los desechos de fisión en un depósito sólido inerte, por ejemplo, de arcilla barnizada al fuego, para limitar su migración al ciclo biológico. Estimó que también podría dar buen resultado el procedimiento de enterrar los desechos en ciertas formaciones subterráneas, mas no el de echarlos al mar. Y añadió que el peligro se reduce si ciertos productos se separan del grueso de los desechos.

El Presidente de la Corporación de Ciencia e Ingeniería Nuclear, al declarar el 28 de febrero de 1957 ante el Comité Conjunto sobre Energía Atómica, del Congreso de los Estados Unidos de América, señaló que los desechos radiactivos deben considerarse más bien como peligro biológico que como cuestión económica. El Gobierno debe asumir su control—dijo—porque es probable que gran parte de los desperdicios sigan siendo radiactivos mucho después de haber desaparecido las empresas que los produjeron.

Un consultor en ingeniería sanitaria de la Comisión de Energía Atómica declaró: "Es preciso que en un plazo relativamente breve se encuentren soluciones para el problema de la eliminación de los desechos, porque los métodos que se adopten pueden tener una influencia importante en la elección del lugar ... La labor llevada a cabo hasta la fecha ... nos sirve de estímulo".

Un funcionario del Laboratorio Nacional de Brookhaven escribió: "En experimentos de laboratorio y en pequeñas instalaciones piloto se han demostrado métodos para encerrar los productos de fisión (en sólidos insolubles) ... Tal vez sea preciso que se abran nuevas perspectivas en la planificación general del desarrollo atómico antes de que sean realmente atrayentes los métodos de eliminación más permanentes".

Un funcionario del Laboratorio Nacional de Argonne manifestó: "La verdadera causa del pesimismo estriba en el hecho de que todavía no hemos encontrado un lugar que se considere

En un reactor experimental, los desechos radiactivos se vierten en tambores de acero que serán blindados y transportados a un muelle, para luego ser depositados en el fondo del mar.

definitivamente satisfactorio para el depósito final de líquidos o sólidos" ... "Me parece que el problema general de eliminar los desechos puede solucionarse, y el hecho de que no se haya logrado aún esa solución no debe ser causa de gran preocupación".

Un funcionario de Hanford escribió: "Los métodos que preconizan el depósito de los radioisótopos en una zona determinada cuyo control se ha planeado, parecen preferibles a los de amplia dispersión, en vista de la concentración que puede producirse en la biosfera." Admitiendo que sea inevitable cierto desprendimiento, "ya sea en forma de corrientes de desechos de poca intensidad y gran volumen procedentes de plantas de separación de isótopos o del lugar de depósito", añadió "los criterios básicos para lograr una eliminación eficaz tienen que derivarse del conocimiento de los efectos de los isótopos en el ambiente".

Un profesor de ingeniería sanitaria de la Universidad Johns Hopkins preconizó que se adoptara una actitud intermedia entre el pesimismo y el optimismo, porque "los métodos actuales ... distan mucho de ser algo que pueda calificarse de verdadera 'eliminación' ... Sin embargo, si tenemos en cuenta que el problema se ha abordado solamente en los últimos cinco años y que se trata de un campo tal vez el más difícil en la historia de la industria, pueden abrigarse grandes esperanzas de hallar soluciones ... El principal aspecto negativo ... estriba quizás en que hay personas que adoptan la actitud del avestruz y dicen que el problema no existe".

Todos concuerdan en que el futuro de la energía procedente de la reacción de fisión depende de la disposición eficiente de sus productos. De los diversos métodos proyectados, por ahora parecen más prometedores los de fijación, los sistemas especializados de almacenamiento en formaciones subterráneas y los de separación y concentración de los elementos más peligrosos.

Es natural que los hombres que liberaron la energía nuclear, consideren que no hay hazaña técnica imposible. Pero parece que los actuales métodos de eliminación de los productos de fisión necesitan todavía ser debidamente evaluados.

Algunos observadores tienen la impresión de que las decisiones sobre el desarrollo de reactores están influidas más bien por consideraciones de orden político que por razones técnicas. Un fun-

cionario del Laboratorio Nacional de Argonne escribió que el depósito de desechos de los reactores se complica "por el hecho de que entran en juego muchos aspectos, entre ellos el político". Otros confían en soluciones técnicas, incluso el posible desarrollo de la energía solar o de fusión, que haría desaparecer el fantasma del temor a los productos de los grandes reactores de fisión.

En las actividades ordinarias, los riesgos son inevitables y sin ellos la vida carecería de atractivo. Todos aceptan los riesgos calculados, por ejemplo, el que tiene el diagnóstico de una dolencia con rayos X, pues está más que compensado con la información que proporciona. Sin embargo, el riesgo de la energía nuclear es de una magnitud sin precedentes, porque los efectos biológicos en un ambiente contaminado por radionúclidos serían acumulativos e irreversibles para las generaciones venideras. Frente a ese riesgo deben sopesarse las ventajas que se esperan de la energía nuclear.

* * * * *

Todo lo expuesto en este capítulo—repetimos—son ejemplos de observaciones que el lector debe juzgar por sí mismo. No se ofrecen como juicios definitivos formulados por este Comité.

medidas de protección

En la mayoría de los servicios de salud pública, los programas de higiene radiológica apenas han empezado a funcionar. Es preciso obtener mucho más adiestramiento y experiencia antes de poder apreciar debidamente los problemas y determinar la estrategia que debe aplicarse. En estos momentos, a pesar de los programas que con espíritu emprendedor llevan a cabo los departamentos de salud de algunos estados de la Unión, la principal necesidad es la de proporcionar orientación y educación tanto al público como a los profesionales. Este proceso de educación lleva implícito el desarrollo y demostración de programas de protección.

A modo de puntos de referencia, tanto la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones como el Comité Nacional han recomendado ciertos límites máximos de exposición. Pero esos límites deben traducirse a valores prácticos en materia de salud pública.

Las medidas de protección pueden referirse a las fuentes de radiación o al ambiente.

Control de las fuentes

Los productores y usuarios de fuentes de radiación son los elementos esenciales en un programa de protección. Muchos grupos tienen planes para intensificar el adiestramiento durante el servicio en radiología médica e industrial. Los servicios gubernamentales pueden exigir que las fuentes de radiación cumplan ciertas normas de seguridad en su diseño, construcción y funcionamiento, así como requerir la identificación, inscripción y licencia para determinadas fuentes y operadores, y establecer ciertos requisitos

respecto a adiestramiento, exámenes o título para algunos operadores. La Comisión de Energía Atómica exige ahora tales medidas de protección para la producción y utilización de la mayoría de los radionúclidos.

Control del ambiente

El control del ambiente tiene por finalidad limitar la exposición a fuentes o usos que han sido establecidos o aprobados. A este objeto se han preparado varios manuales especiales y se están elaborando otros.

La vigilancia e inspección escrupulosa de fuentes y métodos contribuiría a garantizar que la manipulación, el mantenimiento y los procedimientos son seguros. Para descubrir y medir la irradiación externa se usan fotactímetros, dosímetros y contadores de diversas clases. Se espera que puedan desarrollarse nuevas técnicas para evaluar mejor la irradiación interna.

Se ha discutido muy seriamente la necesidad de establecer registros de exposición para todos los ciudadanos. La opinión dominante es que la mayor parte de la información necesaria puede obtenerse con la misma eficacia y menos gastos mediante el sistema de muestreo representativo.

Otros procedimientos para calcular la carga de las radiaciones comprenden pruebas de radiactividad en laboratorios, en el agua potable, leche, alimentos, suelo y seres animales y vegetales. Por ejemplo, en el río Columbia ciertos radionúclidos se concentraban en el plancton de la superficie de las aguas, pasando luego a insectos que ingerían el plancton y acabando por penetrar en los pájaros que devoraban a esos insectos. La distribución de yodo radiactivo se determina mediante análisis de la concentración en las glándulas tiroideas de conejos silvestres capturados.

En vista de la posible distribución de las fuentes de radiación, los estudios de control pueden requerir la cooperación de varias instituciones. Aun cuando no revelen un peligro inmediato, tales estudios contribuyen a identificar posibles riesgos, sirven de base a las medidas de protección y establecen puntos de referencia para futuros estudios.

Pareciera que la mayoría de los programas de salud pública deberían comenzar con estudios de control adecuados, pues así es posible realizar un adiestramiento a todos los niveles.

leyes y reglamentos

La Ley de Energía Atómica de 1946 estableció virtualmente, en la Comisión de Energía Atómica, un monopolio gubernamental sobre los radionúclidos, con excepción del radio y algunos otros materiales radiactivos naturales. La Comisión de Energía Atómica se encarga de establecer y hacer cumplir normas sanitarias y de seguridad con respecto a combustibles y productos de reactores. Sin embargo, las autoridades de salud pública tienen a su cargo la protección total de la colectividad contra la exposición a la radiación.

Ante la creciente producción y uso de fuentes de radiación por parte del personal industrial, militar, médico y agrícola, el Jefe de la División de Isótopos de la Comisión de Energía Atómica declaró en 1953: "Es imposible que un solo organismo central asuma la misión de supervisar e inspeccionar en la forma minuciosa que requiere una buena higiene radiológica. Cada vez resultará más necesario que los servicios locales asuman las funciones relacionadas con los aspectos de defensa de la salud que implican la utilización de los isótopos radiactivos, los rayos X y el radio".

Los radionúclidos en tránsito se rigen por reglamentos establecidos por la Comisión de Comercio Interestatal, el Departamento de Correos y la Comisión de Energía Atómica, con el objeto de proteger a la población, preservar las películas fotográficas y asegurar la utilización de envases económicos y adecuados.

Las autoridades estatales y locales se encuentran ahora ante la necesidad de adoptar disposiciones apropiadas para complementar los esfuerzos del Gobierno Federal encaminados a proteger a los ciudadanos contra las desdichadas consecuencias de la producción y distribución de radionúclidos, estableciendo con-

juntamente medidas para controlar las fuentes de radiación y garantizar su empleo inocuo.

Hasta 1953, los programas de utilización pacífica de la energía nuclear ocupaban en los Estados Unidos una posición secundaria respecto a los de carácter militar. Pero en 1954 se revisó la Ley de Energía Atómica con el objeto de estimular a las empresas privadas y fomentar la cooperación internacional en el uso pacífico de la energía nuclear.

El programa "Átomos para la Paz", que se inició en agosto de 1953, produjo abundante información que hasta entonces había sido más o menos privativa de los especialistas de los respectivos gobiernos. También dio lugar a que los miembros de las Naciones Unidas crearan el Organismo Internacional de Energía Atómica, que se estableció en Viena en 1957.

Una autoridad internacional en energía atómica es esencial no sólo para llevar la tecnología moderna a las regiones insuficientemente desarrolladas, sino también para establecer normas y salvaguardias internacionales contra la exposición a las radiaciones.

El Gobierno de los Estados Unidos ha establecido reglas generales para la protección contra las radiaciones, y a ellas deben atenerse quienes posean licencias de la Comisión de Energía Atómica. Varias instituciones, una de ellas la Asociación Americana de Salud Pública, han propuesto proyectos-modelo de legislación estatal. En muchos estados de la Unión funcionan programas de higiene radiológica, pero sin legislación específica. A menos que se lleguen a concertar reglamentaciones y acuerdos *internacionales* específicos, será difícil, si no imposible, que ningún Gobierno establezca salvaguardias enteramente eficaces para sus propios ciudadanos. Si las Naciones Unidas, el Gobierno Federal de los Estados Unidos y las autoridades sanitarias estatales y locales han de combinar sus fuerzas para regular la instalación de reactores y la distribución y utilización de radionúclidos artificiales, cada persona tendrá que participar en este esfuerzo como pago parcial por su propia seguridad.

resumen

Las ideas principales sobre salud pública radiológica pueden resumirse así:

Los peligros de las radiaciones son reales.

La exposición de la colectividad a las radiaciones va en aumento.

Toda irradiación incrementa las lesiones o tensiones que pesan sobre el organismo.

Los peligros de las radiaciones deben contrapesarse con los beneficios que proporcionan, pues si con ellas se combaten otros peligros para la salud, su uso produce a menudo ventajas superiores a los daños que ocasiona.

La exposición causada por las aplicaciones médicas, científicas e industriales de las radiaciones, puede controlarse y reducirse sin detrimento de sus ventajas.

El posible incremento de la contaminación eventual del ambiente por los productos de reactores constituye un serio problema de salud pública.

Una vez que se ha producido la contaminación radiactiva del suelo, aire, peces y animales de caza, o productos agrícolas, es prácticamente imposible eliminarla.

No se conoce ningún modo de acortar o alargar el período radiactivo de los radionúclidos.

Las radiaciones causarán a la generación actual algún daño, aunque leve, por efecto, si no de la irradiación aguda, por lo menos de la crónica. Esta última puede disminuir la vitalidad y acortar la vida; sus efectos son acumulativos e irreversibles, pero todavía no se ha determinado completamente su importancia.

Los especialistas en genética coinciden en que incluso la más

ligera exposición gonádica tendrá algún efecto en las generaciones futuras.

Los niños y las mujeres embarazadas necesitan mayor protección contra las radiaciones que las demás personas.

La exposición del público en general no debe ser superior a la décima parte de la que experimentan los que trabajan con fuentes de radiación.

Hay que evitar o prevenir toda exposición innecesaria.

Es preciso mantener a bajo nivel la dosis total de la población.

PUBLICACIONES RECOMENDADAS

Permissible Dose from External Sources of Ionizing Radiation. N.R.C.P. National Bureau of Standards, U. S. Dept. of Commerce. Washington, D. C.: Gov. Ptg. Office, sept., 1954. 30 centavos, 79 págs.

The Effect of Nuclear Weapons. S. Glasstone, Editor. Preparado por U. S. Dept. of Defense, A. E. C. Washington, D. C.: Gov. Ptg. Office, junio, 1957. \$2.00, 579 págs.

Source Book on Atomic Energy. S. Glasstone. Nueva York, N. Y.: Van Nostrand, 1954. \$3.75, 562 págs.

Biological Effects of Atomic Radiation—Summary Reports. National Academy of Sciences—National Research Council. Nueva York, N. Y.: Van Nostrand, 1956. 108 págs.

Biological Effects of Atomic Radiation—A Report to the Public. National Academy of Sciences—National Research Council. Nueva York, N. Y.: Van Nostrand, 1956. 40 págs.

Concepts of Radiological Health. Public Health Service. Washington, D. C.: Public Health Service, 1953. 48 págs.

Summary of Hearings on Effects of Radioactive Fallout. Joint Committee on Atomic Energy. 85th Congress (1st Session). Washington, D. C.: Gov. Ptg. Office, 1957, 19 págs.

A Practical Manual on the Medical and Dental Use of X-Rays with Control of Radiation Hazards. Richard H. Chamberlain. Chicago, Ill.: American College of Radiology and American Dental Association, 1958. 32 págs., con ilustraciones.

Ionizing Radiation and a Sense of Proportion. George Tievsky, J.A.M.A. 166, 14:1667-1672 (abril 5), 1958.

glosario

Con escasas excepciones, este Glosario está tomado del *American Standard Glossary of Terms in Nuclear Science and Technology*—ASA N1.1-1957 UDC 001.4:539. National Academy of Sciences—National Research Council. Publicado por *The American Society of Mechanical Engineers*, 29 West 39th Street, Nueva York, N. Y.

Aberración cromosómica (chromosome aberration)

Todo reordenamiento de partes cromosómicas a consecuencia de una rotura y reunión de los cabos rotos.

Actividad (activity)

Sinónimo de radiactividad, definición 1. Véase además *Decrecimiento radiactivo*.

Análisis radioquímico (radiochemical analysis)

Determinación de la tasa absoluta de desintegración de un radionúclido en una mezcla, basada en el número de impulsos por unidad de tiempo de una muestra que se ha separado y purificado, con rendimiento medido, por medio de procedimientos químicos apropiados.

Atomo (atom)

La más pequeña partícula de un elemento que puede entrar en una reacción química.

Blindaje (ingeniería de reactores) (shield)

Revestimiento utilizado para impedir o reducir el paso de partículas o radiaciones. Un blindaje se diseña según lo que se pretenda que absorba,

por ejemplo, un blindaje para rayos gamma o para neutrones; o según la clase de protección que se trate de proporcionar, por ejemplo, blindaje de fondo, biológico o térmico. El blindaje de un reactor es un revestimiento que lo rodea a fin de impedir el escape de neutrones y radiaciones a una zona protegida, que con frecuencia es todo el espacio alrededor. Puede ser necesario para la seguridad del personal o bien con el fin de reducir suficientemente las radiaciones para que se puedan utilizar instrumentos de medición en las investigaciones o en la localización de radiactividad de contaminación o de la transmitida por aire.

Cáncer (biológico) (cancer)

Todo *neoplasma* maligno.

Carcinógeno (biofísica) (carcinogenic)

Capaz de producir cáncer.

Cámara de ionización de bolsillo (pocket chamber)

Pequeña cámara de ionización, tamaño bolsillo, utilizada para vigilar la exposición del personal a las radiaciones. Antes de usarla se carga, y la cantidad de descarga es una medida de la de radiación recibida.

Célula (biológica) (cell)

Cualquiera de las diminutas masas protoplasmáticas que componen un tejido organizado. Consiste en una masa circunscrita de protoplasma que contiene un núcleo. En algunas de las formas inferiores de vida, como bacterias y virus, falta un núcleo morfológico, aunque hay nucleoproteínas (y genes) (Dorland).

Células germinales (biología) (germ cells)

Células de un organismo que tienen la función de reproducir la especie. Son característicamente haploides.

Centelleo (scintillation)

Relámpago de luz producido en sustancias denominadas fósforos (Véase *Fósforos*) por un impulso ionizante.

Ciclotrón (cyclotron)

Aparato que, mediante sucesivos incrementos de energía, acelera partículas altamente energéticas desde un campo eléctrico alterno entre electrodos colocados en un campo magnético constante.

Cigoto (biología) (zygote)

Célula resultante de la unión de dos gametos; en los animales, el huevo diploide fecundado.

Contador (counter)

Dispositivo para contar los impulsos ionizantes. El término puede referirse a un instrumento completo o sólo al detector.

Contador de centelleo (scintillation counter)

Combinación de "fósforo", tubo fotomultiplicador y circuitos para contar los centelleos.

Contaminado (ciencia nuclear) (contaminated)

Lo que se vuelve radiactivo por la adición de cantidades (a veces ínfimas) de material radiactivo.

Cromosoma (biofísica) (chromosome)

Cada unidad de un número definido de corpúsculos de coloración oscura y en forma más o menos de bastoncillos en asa, situados en el núcleo de una célula y especialmente prominentes en el momento de la división celular, cuando se duplican y distribuyen parejamente en las células hijas. Contienen *genes* dispuestos linealmente. El número de cromosomas de las células somáticas de un individuo es constante (*número diploide*), y exactamente la mitad de este número (*número haploide*) aparece en las células germinales. El número de cromosomas o números diploides, etc., dentro de una especie suele ser constante.

Curie, c (curie, c)

1. La definición actual del curie es: Unidad de radiactividad definida como la cantidad de todo núclido radiactivo en que el número de desintegraciones por segundo es $3,70 \times 10^{10}$.

2. Antes se definía el curie como la cantidad (en gramos) de radón en equilibrio con un gramo de radio.

Curva de dosis-efecto (dose-effect curve)

Curva que relaciona la dosis de radiación con el efecto producido.

Curva de supervivencia (radiobiología) (survival curve)

1. Curva que representa el número o porcentaje de organismos super-

vivientes en un momento dado en comparación con la dosis de radiación.

2. Curva que muestra el porcentaje de individuos que sobreviven a intervalos diferentes después de una determinada dosis de radiación.

Decrecimiento radiactivo (radioactive decay)

Transformación espontánea, con un período de vida mensurable, de un núclido en uno o más núclidos diferentes. El proceso implica la emisión, desde el núcleo, de partículas alfa, electrones, positrones, rayos gamma, o la captura o expulsión nucleares de electrones orbitales, o fisión. Es sinónimo de desintegración radiactiva.

Desintegración (disintegration)

Transformación nuclear espontánea (radioactividad) caracterizada por la emisión de energía desde el núcleo. Cuando intervienen varios núcleos, el proceso se caracteriza por un período definido denominado "media-vida".

(Química)

1. Decrecimiento radiactivo.

2. Transformación de un núclido en uno o más núclidos diferentes por bombardeo con partículas de gran energía, tales como partículas alfa o helio, deuterones, protones, neutrones o rayos gamma.

Detector de radiación (instrumentación) (radiation detector)

Todo aparato para convertir energía radiante en una forma más conveniente para la observación.

Dispersión (scattering)

Cambio de dirección de una partícula o fotón, a causa de una colisión con otra partícula o con un sistema. (Teoría del reactor)

Dosímetro (dose meter, dosimeter)

Todo instrumento que mida la dosis de radiación.

Dosímetro de bolsillo (pocket meter)

Instrumento completo, tamaño bolsillo, mediante el cual puede indicarse directamente una cantidad de radiaciones.

Dosímetro de intensidad (dose rate meter)

Todo instrumento que mida la intensidad de la dosis de radiación.

Dosímetro integrador (integrating dose meter)

Cámara de ionización y sistema de medición para determinar el total de la radiación administrada durante una exposición. En radiología médica, la cámara está concebida para ser colocada sobre la piel del paciente. Puede añadirse un dispositivo para que la exposición cese cuando se haya alcanzado la cantidad deseada.

Dosis (radiobiología) (dose, dosage)

Según la acepción actual, la cantidad de radiación transmitida a una determinada superficie o volumen o a todo el cuerpo. Las unidades que indican la dosis son los roentgens para los rayos X o gamma, y los reps o los roentgens equivalentes para los rayos beta. No está resuelta todavía la cuestión relativa a las unidades de dosis para la radiación de macropartículas ni para los rayos X de gran energía. En radiología, la dosis puede especificarse en el aire, en la piel o a alguna profundidad debajo de la superficie; ninguna indicación de dosis es completa si no se especifica la ubicación. Toda la cuestión de las unidades de dosis de radiaciones está en estudio por el Congreso Inter-

nacional de Radiología, y se espera que se adopten nuevas unidades basadas en la energía absorbida en los tejidos. (Véanse en el texto los comentarios sobre exposición, absorción y dosis máxima permisible.—*Ed.*)

Dosis acumulativa (cumulative dose)

La dosis total resultante de repetidas exposiciones a radiaciones de la misma región o de todo el cuerpo.

Dosis cutánea (skin dose)

Dosis en el centro del campo de irradiación en la piel. Es la suma de la dosis en el aire y de la *retrodispersada*, con la adición de la dosis de salida de otras partes, cuando ésta es importante.

Dosis de prolongación (dose protraction)

Método de administración de radiaciones a base aplicándolas de modo continuo durante un período relativamente largo a una dosis de baja intensidad.

Dosis de tolerancia (tolerance dose)

Expresión basada en la suposición de que un individuo puede recibir sin peligro esa dosis de radiación. Actualmente ha sido reemplazada por la expresión "dosis permisible".

Dosis de salida (exit dose)

Dosis de radiación en la superficie del cuerpo opuesta a aquella en que incide el haz.

Dosis en aire (rayos X) (air dose)

(Radiobiología). Dosis de rayos X, expresada en roentgens, transmitida a un punto en el aire libre. En la práctica radiológica consta solamente

de la radiación del haz primario y de la dispersa en el aire ambiente.

Dosis integral (o dosis global) (integral dose or volume dose)

Medida de la energía total absorbida por un paciente o por cualquier objeto durante la exposición a las radiaciones. De acuerdo con el uso en el Reino Unido, la dosis integral para los rayos X o gamma se expresa en *gramos-roentgens*.

Dosis letal media (DLM o LD_{50}) (median lethal dose (MLD or LD_{50}))

Dosis de radiación requerida para matar, en un período determinado, el 50 por ciento de un grupo grande de animales u organismos.

Dosis profunda (depth dose)

Dosis de radiación transmitida a una determinada profundidad debajo de la superficie del cuerpo. Se suele expresar como porcentaje de la dosis de superficie o de la dosis en aire.

Dosis tisular (tissue dose)

Dosis recibida por un tejido en la región de que se trate. En el caso de los rayos X y de los gamma, las dosis tisulares se expresan en roentgens. En la actualidad no hay una unidad generalmente aceptada de dosis tisular para otras radiaciones ionizantes. En los estudios de radiobiología se suele considerar la dosis tisular en función de la energía absorbida por gramo de tejido. Se han propuesto varias unidades relacionadas con el roentgen, por ejemplo, el rep y el rad. (Véase *Rep* y *Rad*).

Dosis umbral (threshold dose)

Dosis mínima que produce un grado detectable de cualquier efecto dado.

Electrón (electron)

Partícula elemental de masa en reposo m_0 igual a $9,107 \times 10^{-28}$ gm. y carga igual a $4,802 \times 10^{-10}$ unidades electrónicas. Su carga puede ser positiva o negativa. El electrón positivo se suele denominar *positrón*; el negativo se llama a veces *negatrón*. Casi siempre se entiende por electrón el negativo. El electrón negativo es parte integrante de todos los átomos.

Elemento (element)

1. Sustancia cuyos átomos tienen todos el mismo *número atómico*.

2. Mezcla de *isótopos* presente en la naturaleza.

3. Clase de átomos que tienen como característica distintiva un número atómico especial.

Energía atómica (atomic energy, power)

Sinónimo popular de energía nuclear.

Estable (sistema atómico o nuclear) (stable)

Incapaz de cambios espontáneos. Se entiende por núcleo estable el que no es radiactivo.

Evaluación de la protección (protection survey)

Evaluación de los peligros de las radiaciones inherentes a la producción, utilización o existencia de materiales radiactivos u otras fuentes de radiación en una determinada serie de circunstancias. Esa evaluación suele comprender una exploración física de la disposición de los materiales y equipo, mediciones o estimaciones de los niveles de radiación que pueden presentarse, y un conocimiento suficiente de las operaciones, con el fin de pronosticar los peligros resultantes de los cambios

previstos o posibles en los materiales o equipo.

Excitado (hot)

Expresión corriente que significa intensamente radiactivo.

Exposición (exposure)

Sinónimo de irradiación, situación que consiste en estar en la trayectoria de las radiaciones. (Véase además *Dosis*).

Exposición aguda (radiobiología) (acute exposure)

Breve exposición a la radiación.

Exposición crónica (radiobiología) (chronic exposure)

Larga exposición a la radiación, por fraccionamiento o prolongación.

Filtro (filter)

Término empleado para designar varios tipos de dispositivos que sólo permiten el paso de algunas clases de materia o energía.

Fisión (fission)

La escisión de un núcleo en dos fragmentos más o menos iguales. Puede producirse espontáneamente o provocarse por captura mediante bombardeo de partículas. Además de los fragmentos de fisión, durante ésta suelen producirse neutrones y rayos gamma.

Fluorescencia (fluorescence)

Emisión de radiaciones electromagnéticas por una sustancia, a consecuencia de una absorción de energía de otras radiaciones, electromagnéticas o corpusculares, y caracterizada por el hecho de que sólo se produce mientras se mantenga el estímulo que la causa.

Fluoroscopia (biofísico) (fluoroscope)

Pantalla fluorescente debidamente montada con respecto a un tubo de rayos X, para facilitar la observación y protección; se emplea para la observación visual indirecta, por medio de rayos X, de órganos internos del cuerpo o de estructuras internas de aparatos o masas de metal.

Fondo (background)

Efectos siempre presentes por encima de los cuales debe manifestarse un fenómeno para poder ser medido por un aparato físico. El fondo puede tomar varias formas según la naturaleza de la medición.

En las mediciones eléctricas de la radiactividad y de los fenómenos nucleares, el término se refiere, por lo general, a las cuentas o corrientes indeseadas que surgen de los rayos cósmicos, de la radiactividad local contaminada, de los escapes de aisladores, del ruido de amplificadores, de las fluctuaciones de la línea de energía, etc.

En trabajos relacionados con investigaciones nucleares o con emulsiones fotográficas, se refiere a granos que pueden revelarse pero que no están en relación con el curso de la investigación.

Fósforos (phosphors)

Término genérico para aquellas sustancias que producen destellos luminiscentes por exposición a la luz o a cualquier impulso ionizante. (*Ed. cast.*)

Fotactímetro (o dosímetro de película) (film badge)

Película fotográfica debidamente empacada para detección de la exposición del personal a la radiación; suele ser del tamaño de las películas radiográficas dentales, se coloca en la

persona y con frecuencia se combina con un fotactímetro identificador. El fotactímetro puede contener dos o tres películas de sensibilidad diferente, y también un filtro para proteger a parte de la película contra ciertas clases de radiación.

Fraccionamiento de la dosis (dose fractionation)

Método de administración de las radiaciones en que a diario, o a intervalos más largos, se aplican dosis relativamente pequeñas.

Gene (biología) (gene)

Unidad fundamental de la herencia, que determina y controla los caracteres hereditarios transmisibles. Los genes están dispuestos linealmente en *loci* definidos en los *chromosomas*.

Gónada (biología) (gonad)

Testículo u ovario, lugar de origen de los óvulos o espermatozoos.

Haz (beam)

Una corriente unidireccional o aproximadamente unidireccional de radiaciones electromagnéticas o corpusculares.

Hemograma (hematología) (blood count)

Hemograma rojo es el número de glóbulos rojos por milímetro cúbico de sangre. El hemograma blanco total es el número de glóbulos blancos para idéntica cubicación. El hemograma blanco diferencial es el número de cada variedad de glóbulos blancos en un recuento de 100. (Las dos variedades más numerosas son los *leucocitos polimorfonucleares* y los *linfocitos*.) El recuento trombocitario es el número de plaquetas por milímetro cúbico de sangre.

Herencia ligada al sexo (biología) (sex linkage)

Herencia de ciertas características que se determinan por genes situados en los cromosomas sexuales.

Heterócigo (biología) (Heterozygous)

Derivado de células germinales genéticamente desiguales.

Hija (daughter)

Un núcleo formado en la desintegración radiactiva de otro (llamado *madre*). Es sinónimo de *producto de desintegración*.

Homócigo (biología) (homozygous)

Derivado de células germinales genéticamente iguales.

Inestable (unstable)

Susceptible de experimentar cambios espontáneamente. De un núcleo, se dice en este sentido que es *radiactivo*; del estado de un sistema, que es *excitado*.

Intensidad (intensity)

1. De la radiación: la energía del número de fotones o de partículas que pasan a través de una unidad de superficie perpendicular a la línea de propagación en el punto de que se trata, en una unidad de tiempo. Para las radiaciones paralelas, el área se refiere a una superficie normal a la dirección de la propagación. En radiología, este término se emplea a menudo incorrectamente en el sentido de *intensidad de la dosis*.

2. De cualquier fuente de partículas: el número total de partículas emitidas o que pasan a través de una unidad de superficie en una unidad de tiempo.

3. De la radiactividad: sinónimo de *actividad* (definición 1).

Intensidad de la dosis (dose rate, dosage rate)

Dosis de radiaciones administradas por unidad de tiempo.

Ion (ion)

Átomo cargado o grupo de átomos molecularmente unidos; a veces también un electrón libre u otra partícula subatómica cargada. Un par de iones consta de un ion positivo y un ion negativo (de ordinario, un *electrón*) con cargas de la misma magnitud y formados de un átomo o molécula neutros por la acción de las radiaciones.

Ionización (ionization)

Todo proceso mediante el cual un átomo o molécula neutros pierden o ganan electrones, adquiriendo así una carga neta.

Irradiación (Véase *Exposición*)

Isótopo (isotope)

Cada uno de los varios núclidos que tienen el mismo número de protones en su núcleo y, por tanto, pertenecen al mismo elemento, pero que difieren por el número de neutrones y, por consiguiente, por el número másico A , o por el contenido de energía (*isómeros*).

En el uso corriente es sinónimo de *núcleo* (no recomendado).

Madre (precursor radiactivo, ascendiente) (parent)

Radionúcleo que al desintegrarse produce un núcleo determinado, la *hija*, ya sea directamente o como miembro posterior de una *serie radiactiva*. Así, por ejemplo, U^{238} es la madre de todos los miembros de la serie de uranio, incluso el producto final Pb^{208} .

Media-vida (half-life)

El tiempo promedio $\frac{1}{2}$ necesario para la desintegración de la mitad de los átomos de una muestra de sustancia radiactiva. Cada radio-núclido tiene un único período de media-vida.

Media-vida, período biológico de, (radiobiol.) (biological half-life)

El tiempo en que un tejido, órgano o individuo vivos eliminan, mediante un proceso biológico, la mitad de la cantidad dada de una sustancia que se ha introducido en ellos. (Véase *Media-vida*).

Media-vida, período efectivo de, (radiobiol.) (effective half-life)

Período de media-vida de un isótopo radiactivo en un organismo biológico; resulta de la combinación de la desintegración radiactiva con la eliminación biológica.

$$\frac{\text{Período efectivo de media-vida}}{\text{Período biológico de media-vida}} \times \text{media-vida} = \frac{\text{Período biológico de media-vida} \times \text{media-vida}}{\text{Período biológico de media-vida} + \text{media-vida}}$$

Microcurie, μc (microcurie)

Una millonésima de *curie*.

Millicurie, mc (milliecurie)

Una milésima de *curie*.

Miliroentgen (milliroentgen)

Una milésima de *roentgen*.

Mutación génica (biología) (gene mutation)

Cambio súbito y permanente en un gene. El término mutación se emplea a veces en una acepción más amplia, que comprende también las *aberraciones cromosómicas*.

Mutación letal (biología) (lethal mutation)

Mutación que conduce a la muerte de la descendencia en cualquier fase.

Mutante (mutant)

Individuo que presenta una mutación.

Neoplasma (biología) (neoplasm)

Crecimiento nuevo de células más o menos desenfrenado y sin sujeción a las limitaciones del crecimiento normal. Es *benigno* si existe algún grado de restricción en el crecimiento y éste no se extiende a partes distantes, y *maligno* si el crecimiento invade los tejidos del huésped, se extiende a partes distantes, o ambas cosas a la vez.

Neutrón (neutron)

Partícula nuclear de carga cero y número másico 1. Los neutrones son parte integrante de todos los núcleos, excepto el $^1\text{H}^1$. Los neutrones son objeto, en grado diverso, de captura por todos los núclidos conocidos, excepto el He^4 . Los neutrones no producen ionización primaria detectable al pasar por la materia, pero se origina ionización por productos de colisiones de neutrones (núcleos de retroceso, rayos γ procedentes de dispersión inelástica y de captura de neutrones).

Núcleo (nucleus)

Parte central de carga positiva de un átomo, con la cual está prácticamente asociada toda la masa del mismo, pero sólo una parte exigua de su volumen.

Nucleón (nucleon)

Partícula integrante del núcleo atómico; por consiguiente, según la

teoría actual, es un *protón* o un *neutrón*.

Núcleo (nuclide)

Especie de átomo caracterizado por la constitución de su núcleo. La constitución nuclear se especifica por el número de protones Z , el número de neutrones N y el contenido de energía; o bien por el número atómico Z , el número másico A [$= N + Z$] y la masa atómica.

Número atómico— Z (atomic number, Z)

Es el número de electrones fuera del núcleo de un átomo neutro, Y , según la teoría actual, el número de protones en el núcleo.

Opaco (opaque)

Que impide el paso de radiaciones o partículas (opuesto a *transparente*).

Osteófilo (radiobiología) (bone seeker)

Todo compuesto o ion que migra *in vivo*, de preferencia a los huesos.

Pantalla fluorescente (fluorescent screen)

Hoja de material recubierta de una sustancia fluorescente que emite luz visible cuando se irradia con radiaciones ionizantes.

Partícula alfa (alpha particle)

1. Partícula de carga positiva emitida de un núcleo y compuesta de dos protones y dos neutrones. En todas sus propiedades medidas es idéntica al núcleo de un átomo de helio.

2. Por extensión, el núcleo de un átomo de helio ($Z = 2$, $A = 4$), especialmente si está en movimiento rápido, como cuando ha sido acelerado artificialmente.

Partícula beta (beta particle)

Electrón negativo o positivo (positrón) emitido de un núcleo durante la desintegración beta.

Periodo letal medio (LD₅₀ time, median lethal time) (radiobiología)

El tiempo necesario, después de administrar una dosis determinada de radiaciones, para que muera el 50 por ciento de un grupo numeroso de animales u organismos.

Plomo (Pb) (lead)

Elemento con número atómico 82 y peso atómico 207,21, que se utiliza mucho como material de protección en instalaciones nucleares, porque es relativamente barato, posee elevada densidad y propiedades nucleares.

Porcentaje de dosis profunda (percentage depth dose)

Cantidad de radiación transmitida a una determinada profundidad de los tejidos, expresada como porcentaje de la cantidad depositada en la piel o como porcentaje de la dosis en aire.

Productos de fisión (fission products)

Los núclidos producidos por la fisión de un núcleo de elemento pesado, por ejemplo U²³⁵ o Pu²³⁹. De la fisión por neutrones lentos se han identificado treinta y cinco elementos productos de fisión, del zinc al gadolinio.

Promedio de vida (average life, mean life)

El de todos y cada uno de los átomos de una determinada sustancia radiactiva. Es 1.443 veces el de media-vida.

Protección (contra las radiaciones)
(radiología) (protection)

Medidas destinadas a reducir la exposición del personal a las radiaciones. Para las radiaciones externas, consisten en el uso de barreras protectoras de material que absorbe las radiaciones, en asegurar una distancia suficiente de las fuentes de radiaciones, en reducir el tiempo de exposición, o en una combinación de estos medios. Para las fuentes internas, la protección consiste en medidas encaminadas a restringir la inhalación, ingestión u otros modos de entrada de materiales radiactivos en el cuerpo.

Rad (rad)

Cien ergios de energía absorbida por gramo de material absorbente.

Radiación ambiente natural (radiation background)

La producida por fuentes naturales tales como los rayos cósmicos y productos naturales radiactivos de la corteza terrestre. (Véase además *Fondo*.) (*Ed. cast.*)

Radiaciones (radiation)

Emisión y propagación de energía en forma de ondas a través del espacio o de un material intermedio; por ejemplo, la emisión y propagación de ondas electromagnéticas o de ondas sonoras y elásticas.

La energía propagada en forma de ondas a través del espacio o de un material intermedio; por ejemplo, la energía en forma de ondas electromagnéticas o de ondas elásticas. El término radiaciones, o energía radiante, sin otro calificativo, se refiere de ordinario a las radiaciones electromagnéticas; esas radiaciones suelen clasificarse, según la frecuencia, en rayos hertzaños, infrarrojos, visibles (luz), ultravioletas, rayos X y rayos gamma.

Por extensión, las emisiones corpusculares, tales como las radiaciones alfa y beta, o los rayos de clase mixta o desconocida, como las radiaciones cósmicas. En radiología, cuando no se añade otro calificativo a este término, se entiende que significa primordialmente radiaciones ionizantes. (*Ed.*)

Radiaciones dispersadas (radiología) (scattered radiation)

Radiaciones cuya dirección se ha desviado al pasar a través de una sustancia. También pueden haber sido modificadas por un aumento de la longitud de onda.

Radiaciones perdidas (stray radiation)

Radiaciones que no tienen aplicaciones útiles; comprenden radiaciones *directas* y radiaciones *secundarias* de objetos irradiados.

Radiactividad (radioactivity)

1. Desintegración nuclear espontánea con emisión de radiaciones corpusculares o electromagnéticas. Las clases principales de radiactividad son la *desintegración alfa*, la *desintegración beta* (emisión de negatrones, emisión de positrones y captura de electrones), y la *transición isomérica*. La *desintegración beta doble* es otra clase que se ha propuesto, y la *fisión* espontánea y las transformaciones espontáneas de mesones se consideran a veces como clases de radiactividad. Para poder considerarse como radiactivo, un proceso debe tener un período de vida mensurable entre $\sim 10^{-10}$ segundos y $\sim 10^{17}$ años, según la técnica experimental actual. Las radiaciones emitidas en un período demasiado breve para ser medido, se llaman inmediatas; sin embargo, las radiaciones inmediatas, entre ellas los

rayos gamma, los rayos X propiamente dichos, los electrones de conversión y Auger, los neutrones retardados y las radiaciones de aniquilación, se asocian a menudo a las desintegraciones radiactivas, puesto que su emisión puede ser consecutiva al proceso radiactivo primario.

2. Un determinado componente de la radiación procedente de una fuente radiactiva; por ejemplo, la radiactividad gamma.

3. En radionúclidos, la radiactividad producida en un bombardeo.

Radiología (radiology)

Ciencia médica de las sustancias radiactivas, rayos X y demás radiaciones ionizantes, y aplicación de los principios de esa ciencia al diagnóstico y tratamiento de las enfermedades.

Radionúclido (radionuclide)

Sinónimo de *núclido radiactivo*.

Radiopatía (o **radiotoxemia**) (radiobiología) (radiation sickness)

En radioterapia: Síndrome auto-limitado que se caracteriza por náuseas, vómitos, diarrea y depresión psíquica, consecutivo a exposición a dosis apreciables de radiaciones ionizantes, particularmente en la región abdominal. Su mecanismo es desconocido y no hay remedio satisfactorio. Por lo general se presenta pocas horas después de un tratamiento y puede cesar en un día. Puede ser lo suficientemente grave para que obligue a interrumpir el tratamiento o para incapacitar al paciente.

En desastres por bombas atómicas: Síndrome consecutivo a exposición aguda a radiaciones ionizantes. Pocas horas después de la exposición aparecen náuseas y vómitos, que duran unas horas y luego cesan por

intervalos variables. Después de este período quiescente, hay recurrencia de náuseas y vómitos, acompañados de diarrea mucosa o sanguinolenta, púrpura, depilación e infecciones agranulocíticas. La enfermedad varía en gravedad: puede producirse la muerte o bien un restablecimiento parcial o aparentemente completo. Cuanto más intensos son los primeros síntomas y cuanto más breve el período de remisión, tanto más grave es el desenlace.

Radiorresistencia (radioresistance)

Resistencia relativa de las células, tejidos, órganos u organismos a la acción nociva de la radiación.

Radiosensibilidad (radiosensitivity)

Susceptibilidad relativa de las células, tejidos, órganos, organismos o cualquier sustancia a la acción nociva de la radiación. *Radiorresistencia* y *radiosensibilidad* se emplean actualmente en sentido cualitativo o comparativo más bien que en sentido cuantitativo o absoluto.

Radioterapia (radiobiología) (radiation therapy)

Tratamiento de enfermedades con cualquier clase de radiación. En sentido más estricto, tratamiento de enfermedades con radiaciones ionizantes.

Rayos catódicos (cathode rays)

1. Una corriente de electrones emitida por el cátodo de un tubo de descarga de gases cuando se bombardea con iones positivos.

2. Toda corriente de electrones, como en un tubo en que la fuente de los electrones sea un filamento caldado.

Rayos cósmicos (cosmic rays)

Radiaciones cuyo origen primario se halla fuera de la atmósfera, son capaces de producir impulsos ionizantes al pasar por el aire u otra materia, y con elementos constitutivos capaces de penetrar muchos pies en materiales tales como rocas. Los rayos cósmicos primarios constan probablemente de núcleos atómicos, principalmente protones, algunos de los cuales pueden tener energías de 10^{10} a 10^{15} electro-voltios. Los rayos cósmicos secundarios son producidos cuando los primarios actúan recíprocamente con núcleos y electrones, por ejemplo, en la atmósfera de la tierra; constan principalmente de mesones, protones, neutrones, electrones y fotones que tienen menos energía que los rayos primarios. Casi todos los rayos cósmicos primarios son absorbidos en las altas capas de la atmósfera, y casi todas las radiaciones cósmicas observadas en la superficie de la tierra son de tipo secundario.

Rayos gamma (rayos- γ) (gamma ray)

Cuanto de radiaciones electromagnéticas emitidas por un núcleo; cada uno de esos fotones se desprende a consecuencia del salto cuántico entre dos niveles de energía del núcleo.

Rayos X (X-rays)

Los rayos X se producen de ordinario bombardeando con neutrones rápidos, a gran vacío, un blanco metálico. En las reacciones nucleares, los fotones que se originan en el núcleo suelen denominarse *rayos gamma*, y rayos X los que proceden de la parte extranuclear del átomo. El término rayos X fue dado por Röntgen, pero hay muchos radiólogos médicos que prefieren darles el nombre de su descubridor. Fuera del campo médico se les llama generalmente rayos X.

Reactor (reactor)

Instalación capaz de soportar una reacción nuclear apreciable. Se denomina reactor de fisión la instalación capaz de soportar una reacción de fisión en cadena. El término reactor puede ir acompañado de las palabras térmico, epitérmico, intermedio o rápido, para indicar la energía predominante de los neutrones que causan la fisión.

Rem (Roentgen equivalent, man)

Abreviatura de r(oentgen), e(quiv-alente), m(amífero) u hombre. Dosis de cualquier radiación ionizante que cause el mismo efecto biológico que el producido por un roentgen de radiación por rayos X de alto voltaje. (Unidad propuesta, Parker.)

Rep (Roentgen equivalent, physical)

Abreviatura de r(oentgen), e(quiv-alente), f(ísico). Unidad propuesta para indicar las dosis de radiaciones ionizantes no cubiertas por la definición del roentgen. Se ha definido de diversos modos, diciendo que es la dosis que produce una absorción de energía de 83 ergios o de 93 ergios por gramo de tejido. La verdadera absorción de energía en el tejido, por roentgen, depende de la composición del tejido y de la longitud de onda de las radiaciones, y oscila entre 60 y 100 ergios por gramo.

Roentgen, r (roentgen, r)

Cantidad de radiaciones X o gamma tal que la emisión corpuscular asociada por 0,001293 gm. de aire produce, en el aire, iones que llevan 1 unidad electrostática de electricidad de uno u otro signo. La emisión corpuscular asociada es el complemento total de partículas secundarias cargadas (de ordinario limitado a electrones) asociado a un haz de rayos X

o de rayos gamma en su paso a través de la materia.

Sincrotón (synchroton)

Aparato para acelerar partículas, de ordinario electrones, en una órbita circular de un campo progresivamente magnético por medio de un campo eléctrico alterno aplicado en sincronismo con el movimiento orbital. El sincrotón para protones es un tipo modificado que permite la aceleración de protones mediante la modulación de la frecuencia del voltaje que acelera la radiofrecuencia.

Trazador (o marcador) (tracer)

Substancia extraña que se mezcla con otra dada o se añade a ella para poder determinar después la distribución o ubicación de esta última. El trazador radiactivo es un trazador físico o químico que tiene como propiedad característica la radiactividad.

Vida, promedio de. Véase *Promedio de vida*.

Z

Símbolo de *número atómico*.