

- I couldn't possibly tell her

**A** diario estamos expuestos a la radiación sin siquiera darnos cuenta, especialmente a la radiación electromagnética que abarca un gran espectro de frecuencias que pueden causarnos desde molestias hasta daños muy graves, por ejemplo, la radiación solar tomada indiscriminadamente puede causarnos lesiones en la piel que pueden ir de lo leve hasta el cáncer de piel, puede causar daños irreparables en la visión, etc. En algunos laboratorios, se emplea la luz UV como bactericida, o para modificar algún fenómeno en el que se requiere suministrar alta energía en una zona de área pequeña como sucede con los fenómenos de termoluminiscencia.

La radiactividad es un fenómeno nuclear ya que se produce en el seno de los núcleos atómicos, ocurre durante la desintegración

espontánea del núcleo y tiene como efecto la emisión de rayos  $\alpha$  y  $\beta$ , y cuando los neutrones y los protones dentro de un núcleo se arreglan espontáneamente a sí mismos se producen los rayos gamma ( $\gamma$ ).

A partir de fines del siglo pasado, se comenzó a estudiar la radiactividad y su empleo, en beneficio y en perjuicio del hombre. Fue Marie Curie la primera en observar el elemento radio emitir una intensa luz, por ello los bautizó con el nombre de elementos radiactivos.

### ¿CÓMO SE PRODUCE LA RADIATIVIDAD?

Un átomo consiste en un núcleo de volumen pequeño que contiene casi toda la masa atómica y que está cargado positivamente, rodeado por una nube de electrones que se

mueven en un volumen atómico mucho mayor. Se sabe que las propiedades químicas de los elementos están determinadas por los movimientos de los electrones extranucleares, de modo que todos los átomos con el mismo número atómico tienen las mismas propiedades químicas. Las masas de todos los núcleos son aproximadamente un número entero de veces una masa muy cercana a la del protón, que constituye al átomo de hidrógeno. Sin embargo, existen elementos con el mismo número atómico pero de diferentes masas, su existencia puede inferirse de los diferentes pesos atómicos del plomo y otros elementos producidos en las cadenas atómicas radiactivas naturales. A estos átomos se les llama isótopos, de la palabra griega que significa "mismo lugar" y hace referencia a que los isótopos de un

mismo elemento ocupan el mismo lugar en la Tabla Periódica.

La mayor parte de los núcleos que se encuentran en la naturaleza son estables, las partículas que los forman se denominan nucleones, y son los protones y los neutrones. Entre ellos actúan las fuerzas nucleares que los mantienen unidos y que son mucho mayores en magnitud que las fuerzas eléctricas de repulsión originadas también entre ellos.

Los núcleos son estables a medida que ocupan el estado de energía más bajo posible, lo que no sucede con un núcleo radiactivo, debido a que su estado de energía es tan alto que puede emitir radiación en forma espontánea y desintegrarse en núcleos más pequeños, fenómeno conocido como decaimiento radiactivo.

Podemos hacernos una idea de la magnitud de las fuerzas nucleares si empleamos

Si un neutrón lento, es decir, un neutrón que viaja a muy baja velocidad se encuentra con un núcleo de hidrógeno, éste puede capturarlo debido a que el nuevo sistema formado resulta más estable que el inicial, la relación masa-energía del nuevo átomo es menor que la del átomo de hidrógeno más el neutrón libre y la diferencia en la energía se irradia en forma de rayo gamma ( $\gamma$ ) (figura 1). A esta emisión es lo que se denomina radiactividad.

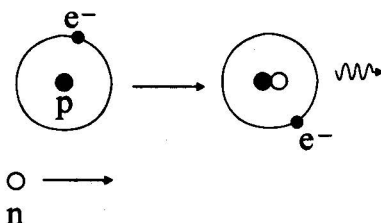


Figura 1. Un neutrón lento es atrapado al pasar cerca de un átomo de hidrógeno, formando un átomo de deuterio.

forma el  $^{222}\text{Ra}$  conocido como radón. Hay 30 materiales que emiten partículas  $\alpha$  en las tres cadenas radiactivas que existen en la naturaleza y que se conocen como las series del uranio, protactinio y torio. Éstas comienzan en el  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  (Pa) y  $^{232}\text{Th}$ , y después de un cierto número de decaimientos radiactivos terminan en  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$  y  $^{208}\text{Pb}$  respectivamente, siendo los tres isótopos del plomo materiales muy estables.

Además de la fisión o ruptura en dos fragmentos de masas casi iguales, el decaimiento  $\alpha$  es el único proceso energéticamente posible que permite la emisión espontánea de nucleones a partir de núcleos pesados. Se da en algunos núcleos inestables, principalmente en aquellos con números de masa por arriba de 200, y emite en forma espontánea una partícula  $\alpha$ , lo que provoca un decremento en la carga nuclear de dos unidades y un decremento en el

# LA RADIATIVIDAD Y SUS EFECTOS EN EL ORGANISMO

María Cristina Piña Barba

la ecuación masa - energía de Einstein:

$$E = mc^2$$

El átomo de deuterio tiene un núcleo compuesto por un protón y un neutrón, es el núcleo más simple que existe en el que las fuerzas nucleares enlazan partículas. La masa de un núcleo de deuterio es ligeramente menor que la suma de la masa de un protón más la de un neutrón. La diferencia entre estas masas es lo que nos proporciona el grado de enlace entre el protón y el neutrón en el núcleo de deuterio. Para separar al protón del neutrón sería necesario proporcionarle a este núcleo una gran cantidad de energía (2.224 megavoltios). Si la energía suministrada es mayor, el resto de la necesaria para separar los nucleones se transforma en energía cinética de las partículas.

LA EMISIÓN DE PARTÍCULAS RADIATIVAS

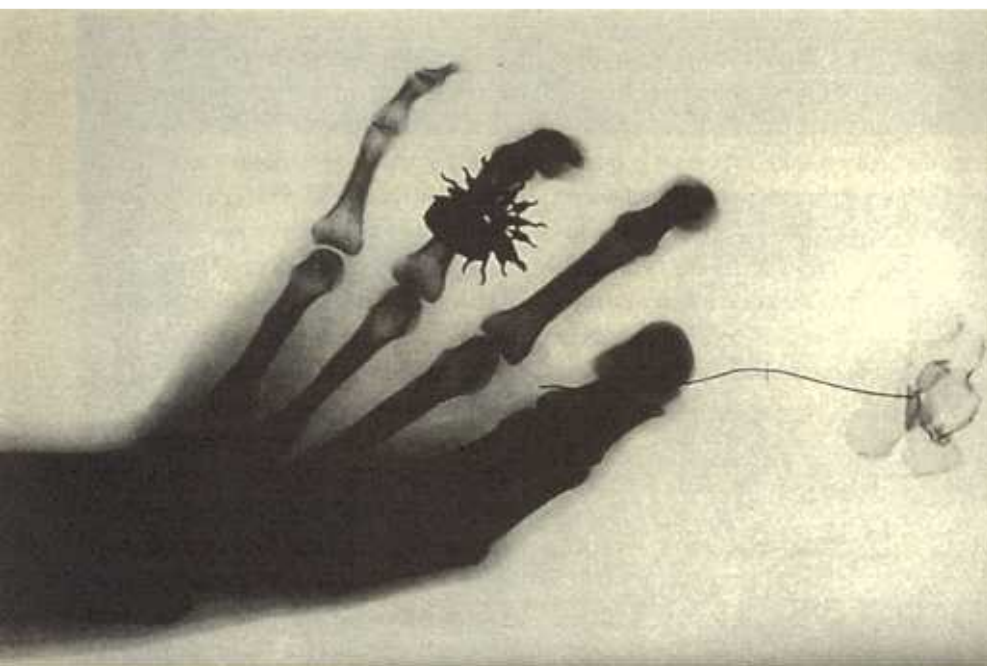
LAS PARTÍCULAS  $\alpha$

El hecho de que ciertos elementos radiactivos emitan partículas  $\alpha$  fue uno de los primeros descubrimientos en los albores de la física moderna. En 1908 fue Rutherford quien demostró concluyentemente que las partículas  $\alpha$  eran núcleos de  $^4\text{He}$ . Si un núcleo emite en forma espontánea una partícula  $\alpha$  (o rayo  $\alpha$ ), su número atómico y su número de masa cambian necesariamente, y se forma un nuevo núcleo, al núcleo original se le llama núcleo padre mientras que al producto se le conoce como núcleo hijo. Por ejemplo, en el caso del radio  $^{226}\text{Ra}$ , cuyo número atómico es 88, emite una partícula  $\alpha$  que tiene un número atómico de 2 y otra, cuyo número  $A$  es 4, se

número de masa de cuatro unidades. Si un núcleo tiene una masa mayor que la suma de las masas de los núcleos y de otro núcleo de He, entonces es inestable y puede decaer y emitir una partícula  $\alpha$ .

Esencialmente todos los núcleos con número atómico mayor a 100 son inestables; sólo aquellos con número atómico mayor a 200 presentan un decaimiento  $\alpha$  importante. Los núcleos más pesados tienen un decaimiento  $\alpha$  con una vida media suficientemente corta para que la emisión de las partículas  $\alpha$  de una muestra dada ocurra con una velocidad que permite su observación en el laboratorio. Es importante notar que los núcleos pesados sólo emiten partículas  $\alpha$ , no emiten protones, ni neutrones, ni otros grupos pequeños de nucleones.





Mamuel Álvarez Bravo, *Flor y anillo*, 1940

## LAS PARTÍCULAS $\beta$

Este tipo de radiactividad llamada  $\beta$  fue uno de los primeros fenómenos nucleares en ser observados en los últimos años del siglo XIX. Algunos elementos pesados que son activos en forma natural emiten partículas  $\beta$  que no son otra cosa que electrones, sin embargo, los experimentos fundamentales que dieron información sobre el proceso no se llevaron a cabo sino

mico del núcleo hijo es una unidad más grande que la del núcleo padre cuando decae por emisión  $\beta$ . Por ejemplo, cuando decae el  $^{14}\text{C}$ , cuyo número atómico es 6, emitiendo una partícula  $\beta$  o rayo  $\beta$ , se forma  $^{14}\text{N}$  de número atómico 7.

La conversión de un neutrón en un protón y un electrón es el prototipo de la clase de procesos de desintegración conocidos como decaimiento  $\beta$ . Muchos núcleos se

## *Los rayos X y $\gamma$ más energéticos pueden penetrar cualquier parte del cuerpo y causar daños en el ADN.*

hasta 1945. Este retardo se debió tanto a las dificultades que se presentaban al diseñar los experimentos que finalmente comprobarían este tipo de decaimiento, como a la evolución de la teoría cuántica que lo pudiera explicar, ya que implica la aparición de partículas fundamentales como son el neutrino y el mesón. El neutrino se caracteriza por que no interactúa con la materia ordinaria, lleva energía y momento y viaja a la velocidad de la luz.

El decaimiento  $\beta$  equivale a la transformación de uno de los neutrones nucleares en un protón. Como la partícula emitida lleva una carga negativa, el número ató-

conocen por presentar decaimiento  $\beta$  con emisión de electrones en la misma forma en que decaen los neutrones libres.

Todos los procesos de decaimiento nuclear radiactivo en los cuales se emite un electrón pueden considerarse como resultado del decaimiento  $\beta$  de un neutrón en el núcleo padre. Por ejemplo, el caso de  $^8\text{Li}$  que consiste en 3 protones y 5 neutrones y que decae bajo emisión  $\beta$  con un tiempo de vida media de 0.85s. El proceso de decaimiento del  $^8\text{Li}$  transforma uno de los 5 neutrones en un protón de modo que el nuevo núcleo tiene 4 protones y 4 neutrones, este nuevo núcleo es  $^8\text{Be}$ .

## LOS POSITRONES

Otro tipo de radiación se presenta cuando la partícula emitida es un positrón, ésta es idéntica al electrón pero con carga positiva y para diferenciarla de la  $\beta$  se denota como  $\beta^+$ . De modo que hay dos procesos de decaimiento  $\beta$  complementarios que se denotan por decaimiento  $\beta$  y  $\beta^+$ . Entendiendo que estos procesos se llevan a cabo dentro del núcleo, el electrón (o positrón) y el neutrino se crean en el instante de la desintegración y son emitidos en forma inmediata del núcleo, con esto quiero enfatizar que ellos no existían antes en el núcleo.

Existe además el proceso de captura de un electrón orbital por el núcleo para convertir un protón en un neutrón y así disminuir el número atómico en uno, pero dicho proceso no será descrito aquí.

## LOS RAYOS GAMMA

Los arreglos nucleares internos que dejan el número atómico y la masa inalterados están acompañados por emisiones de rayos gamma ( $\gamma$ ), que frecuentemente son emitidos después de un decaimiento  $\alpha$  o  $\beta$ , cuando los núcleos hijos se reajustan para ocupar el estado de energía más bajo. La radiación  $\gamma$  es radiación electromagnética de alta frecuencia.

## EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN

Las radiaciones de diferentes frecuencias causan daño en varias partes del organismo, sin embargo, cuando hablamos de daños por radiación, en general nos referimos a los efectos producidos por radiación de alta energía como los rayos X de los dispositivos médicos y los rayos  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  provenientes de materiales radiactivos. Los rayos X y los rayos  $\gamma$  se diferencian en su frecuencia, o lo que es lo mismo, en su energía, siendo ambos radiación electromagnética. Los rayos X y los rayos  $\gamma$  más energéticos pueden penetrar cualquier punto del cuerpo humano, pueden afectar el sistema nervioso, los órganos internos e incluso pueden causar serios daños en el DNA de las células dependiendo de la energía que lleven.

Las partículas  $\alpha$  y  $\beta$  pueden producir ionización en el tejido biológico, lo que quiere decir que al chocar con el tejido pueden liberar electrones de los átomos que se encuentran a su paso o romper algunas de las moléculas que constituyen el tejido, produciendo un daño considerable, lo que se debe a su carga eléctrica. Los electrones, por ser mucho menos masivos que las partículas  $\alpha$ , penetran mucho más en la materia, en este caso en el tejido biológico considerado. El alcance de un electrón de 1 MeV de energía llega a ser del orden de 4.2 milímetros, mientras que las partículas  $\alpha$  de 5 MeV de energía penetran sólo unas 40 micras. Debido a que los neutrones no tienen carga eléctrica, no producen ionización al pasar por la materia. Cuando el neutrón choca con un núcleo, el núcleo rebota como resultado de la colisión, y al moverse a través de los átomos que lo rodean provoca que algunos de sus electrones salgan disparados, de modo que la colisión produce ionización a lo largo del camino de los núcleos con los que choca. En los tejidos biológicos, los neutrones interactúan principalmente con los protones de los átomos de hidrógeno que son muy abundantes en estos tejidos. Lo único que puede detener a los neutrones es que pierdan su energía por colisiones con la materia, lo que sucede después de provocar una gran destrucción.

Los rayos X y los  $\gamma$  pasan a través de la materia, interactúan con ella, liberan electrones y les proporcionan gran cantidad de energía. A su vez, estos electrones ionizan los átomos que los rodean al igual que lo harían los electrones producidos por el decaimiento  $\beta$ . La incidencia de rayos X o rayos  $\gamma$  en el organismo tiene un efecto más devastador que la incidencia de partículas  $\alpha$  o  $\beta$  provenientes de una fuente radiactiva. Al no tener carga eléctrica, los rayos X y los rayos  $\gamma$  penetran profundamente en la materia y no pierden energía sino hasta que chocan con alguna partícula. A diferencia de los neutrones, estos rayos no tienen masa tampoco, por lo que pueden penetrar aún más que los neutrones a la materia. Al desintegrarse, el  $^{60}\text{Co}$  emite rayos  $\gamma$  que pue-

den penetrar en el tejido biológico hasta 10 cm antes de que su intensidad decrezca a la mitad. Cuando un material radiactivo es inhalado o ingerido, el efecto producido por las partículas  $\alpha$  o  $\beta$  en los órganos internos del cuerpo humano es mayor que si sólo existe la exposición a este tipo de radiación, es decir, si una persona se expone a radiación  $\alpha$  o  $\beta$ , ésta penetra mucho menos en el organismo que si la ingiere o la lleva de alguna forma directamente al órgano que se desea irradiar.

Debido a que los efectos causados por la radiación pueden o no ser transferidos a la descendencia de los individuos afectados, se dice que estos son somáticos o genéticos. Los efectos somáticos afectan únicamente al individuo que recibe la radiación, mientras que son genéticos si se

ción a la radiación de cuerpo completo a varias dosis de radiación se resumen en el cuadro 1.

Los efectos somáticos retardados por exposiciones agudas a la radiación han sido cuidadosamente monitoreados a partir de 1947, en las personas sobrevivientes a la tragedia ocurrida por la detonación de bombas atómicas en Hiroshima y Nagasaki, en 1945. La presencia de cataratas en los ojos es uno de los desórdenes más comunes relacionados con la radiación en este grupo de personas, tumores en tiroides, leucemia, aberraciones cromosómicas en los linfocitos de la sangre, y un ligero achaparramiento de quienes fueron expuestos durante su niñez. Hallazgos recientes indican una mayor incidencia de tumores, siendo los más frecuentes el cáncer de pecho y de pul-

Cuadro 1. EFECTOS SOMÁTICOS PRODUCIDOS POR RADIACIÓN (rem), RAYOS  $\gamma$  A DIFERENTES DOSIS DE EXPOSICIÓN.

DOSIS DE RADIACIÓN RECIBIDA EN EL CUERPO	EFFECTO (EXPOSICIÓN AGUDA)	OBSERVACIONES
0-25	Ninguno detectable.	
25-100	Algunos cambios en la sangre, náuseas.	Algunos daños a médula ósea, a nodos linfáticos y al bazo.
100-300	Cambios en la sangre, vómitos, fatiga, decaimiento.	Se espera recuperación completa, tratamiento de antibióticos.
300-600	Los efectos de arriba más: infección, hemorragias y esterilidad temporal.	El tratamiento involucra transfusiones de sangre y antibióticos; casos severos requieren trasplante de médula ósea. Se espera recuperación de 50% a 500 rem.
>600	Los efectos de arriba más daño al sistema nervioso central.	Muerte inevitable si la dosis excede 800 rem.

alteran los genes de sus células de forma tal que son heredados a sus descendientes.

La exposición a la radiación a la que se somete un individuo puede ser aguda, lo que se refiere al hecho de que el individuo recibe toda la radiación en un intervalo de tiempo corto, de segundos a horas, o crónica cuando el intervalo de tiempo en el que se recibe la radiación es largo. Los efectos somáticos para una exposi-

mones. Es notorio el incremento en la incidencia de cáncer en este grupo de personas a más de 30 años de la exposición a la radiación y el acortamiento de la vida que se ha podido estimar en aproximadamente 2.5 días/rem para exposiciones crónicas y de 10 días/rem para exposiciones agudas.

En la terapia por radiación y en algunas exposiciones accidentales sólo ciertas regiones del cuerpo son irradiadas, y es no-

Cuadro 2. EFECTOS PRODUCIDOS POR LA RADIACIÓN EN LOS DIFERENTES ÓRGANOS

ÓRGANO	EFECTO	DOSIS TOLERADA (RADS.)	DOSIS TOLERADA (RADS.)
		PARA 5% DE PROBABILIDAD DEL EFECTO EN 5 AÑOS	PARA 50% DE PROBABILIDAD DEL EFECTO EN 5 AÑOS
Piel	Úlcera, fibrosis severa	5 500	7 000
Estómago	Úlcera, perforación	4 500	5 000
Hígado	Fallas	3 500	4 500
Riñón	Nefrosclerosis	2 300	2 800
Corazón	Pericarditis, pancarditis	4 000	10 000
Hueso	Necrosis, fractura	6 000	15 000
Lente ocular	Cataratas	500	1 200
Tiroides	Hipotiroidismo	4 500	15 000
Músculo	Ningún desarrollo	2 000-3 000	4 000-5 000
Médula ósea	Hipoplasia	200	550
Feto	Muerte	200	400

torio como un órgano determinado puede tolerar una dosis considerablemente mayor que la tolerada por el cuerpo entero. En los procedimientos que se llevan a cabo en la terapia por radiación se administran altas dosis a órganos afectados por tumores malignos o a partes de ellos para producir un efecto benéfico en el individuo. Algunas dosis de tolerancia para órganos particulares se listan en el cuadro 2.

Los efectos genéticos, como su nombre lo indica, ocurren en los genes del individuo, ya que debido a la radiación se pueden producir mutaciones por rompi-

mientos irreparables en los cromosomas de la cadena del ADN. Sin embargo, aún no se conocen los trastornos que esto puede producir ya que hoy día se sigue estudiando la cadena del ADN. Aunque sí se sabe que produce trastornos en el individuo y en su descendencia, éstos todavía están lejos de ser identificados por completo, no se conoce aún el nivel de radiación para el cual la producción de mutaciones es importante.

Los daños biológicos resultantes de la dosis acumulada por una exposición crónica son definitivamente menores que si la misma dosis se recibe en una exposición

aguda. La razón para esto es que el cuerpo tiene oportunidad de reparar el daño producido por pequeñas dosis, espaciadas en el tiempo, lo que no necesariamente es cierto en el caso de efectos genéticos.

#### LA OTRA CARA DE LA RADIATIVIDAD

Casi siempre que oímos hablar de la radiactividad, ésta nos produce temor; sin embargo, la radiactividad también tiene su lado bueno, ya que sirve para la generación de electricidad, gracias a los elementos radiactivos es posible fechar la cultura del hombre, proporciona datos que permiten conocer la evolución de nuestro planeta, y con su ayuda se pueden diagnosticar enfermedades y curar muchos tipos de cáncer.

Los isótopos radiactivos han sido empleados tanto en el diagnóstico como en la terapia. Una de las principales razones de emplear radioisótopos en la medicina es la selectividad que tiene el organismo para ciertos elementos. Por ejemplo, el yodo es absorbido selectivamente por la glándula tiroides, si además consideramos que el isótopo  $^{131}\text{I}$  tiene una vida media de 8.05 días, se convierte en una sustancia considerablemente aplicable en medicina, ya que si una pequeña cantidad que contiene yodo  $^{131}\text{I}$  es ingerida por un paciente, éste tendrá una gran probabilidad de encontrar su camino a la glándula tiroides; además decae en un periodo de semanas, por lo que no representa una radiación azarosa a largo plazo.

El yodo radiactivo en la tiroides (u otro isótopo en un órgano diferente) puede localizarse en forma efectiva por medio del empleo de un dispositivo de barrido que detecta la radiación gamma del isótopo. Dichos arreglos pueden ser usados, por ejemplo, en el barrido del cuerpo o del cerebro. El tipo más avanzado de dispositivos de barrido es el de tomografía axial computarizada (TAC). Estas máquinas generan vistas de la sección transversal del cuerpo con alta resolución, que pueden ser aplicadas a mujeres embarazadas, lo que no ocurre con los rayos X convencionales.

Los barridos de TAC aportan una gran cantidad de información muy detallada

Cuadro 3. EMPLEO MÉDICO DE ALGUNOS RADIOISÓTOPOS

RADIOISÓTOPO	VIDA MEDIA	EMPLEO MÉDICO
$^{32}\text{P}$	14.3 días	Tratamiento de leucemia y otros carcinomas.
$^{60}\text{Co}$	5.24 años	Irradiación externa de carcinomas; implantados en agujas o píldoras para irradiación local de carcinomas; estudios de anemia perniciosa.
$^{75}\text{Se}$	127 días	Exploración de páncreas y paratiroides.
$^{85}\text{Sr}$	64 días	Exploración de huesos.
$^{90}\text{Y}$	64 horas	Implantado en agujas o píldoras se emplea en irradiaciones locales de carcinomas.
$^{99}\text{Tc}$	6 horas	Exploración de cerebro, tiroides, riñones, hígado y bazo.
$^{125}\text{I}$	60 días	Exploración y tratamiento de tiroides, localización de tumores cerebrales, estudios de riñón, hígado y pulmón.
$^{131}\text{I}$	8.05 días	Exploración y tratamiento de tiroides, localización de tumores cerebrales, estudios de riñón, hígado y pulmón.
$^{198}\text{Au}$	2.7 días	Tratamiento de cáncer de mama.



## UNIDADES DE RADIACIÓN

Para especificar la cantidad de radiactividad contenida en una muestra se usa la unidad llamada curie (Ci) en honor a Marie Curie. Un curie de radiactividad representa  $3.7 \times 10^{10}$  decaimientos por segundo. Una fuente de  $^{60}\text{Co}$  que puede ser usada en un hospital puede contener varios kilocuries ( $10^3\text{Ci}$ ); dosis pequeñas como 1 milicurie ( $10^{-3}$ ) de algún radioisótopo pueden ser administradas para radioterapia interna.

Si lo que se mide es la cantidad de radiación absorbida por un objeto, la unidad correspondiente es el rad o el Gray, siendo  $1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ julios/kg}$  y el Gray =  $1 \text{ julio/kg}$ , de modo que cuando 1 kg de materia absorbe 0.01J de energía de radiación, se dice que ha recibido una dosis de 1 rad. El rad es una medida de la radiación absorbida por kg, la cual depende de tres factores: el número de desintegraciones por segundo, la energía de cada radiación y el tiempo de exposición a la radiación. Una persona que se encuentra a una distancia de 1 m de una fuente de 1 Ci de  $^{60}\text{Co}$  por una hora, puede recibir una dosis de aproximadamente 1.2 rad en la superficie de su cuerpo frente a la fuente, y una dosis de la mitad de esta cantidad a una profundidad de 10 cm por la atenuación de la radiación en el cuerpo.

La dosis física no informa sobre los efectos biológicos de la radiación. Una misma cantidad de energía puede producir diferentes efectos según sea el tipo de radiación de que se trate. El efecto biológico de la radiación depende de la dosis absorbida, de la distribución de la radiación en los tejidos y de algunas variables tanto biológicas como químicas, de manera que si lo que queremos es especificar el daño biológico producido por la radiación, lo hacemos en términos de un patrón basado en rayos X de 250 KeV de energía y se define la eficacia biológica relativa (EBR) de las demás radiaciones con respecto a este patrón. La dosimetría biológica es la dosimetría física multiplicada por este factor comparativo, y su unidad es el rem:

$$1 \text{ rem} = \text{EBR} \times 1 \text{ rad}$$

También se usa como unidad el Sievert (EV) que equivale a 10 rem.

La eficacia biológica relativa depende

## EFFECTOS DE LA RADIACIÓN EN EL CUERPO

Cerebro . . . . .

Tejido linfático . . . . .

Piel - - - - -

Tiroides: —————

Esófago . . . . .

Pulmón —————

Hígado . . . . .

Vesícula biliar - - - - -

Estómago —————

Páncreas - - - - -

Intestinos . . . . .

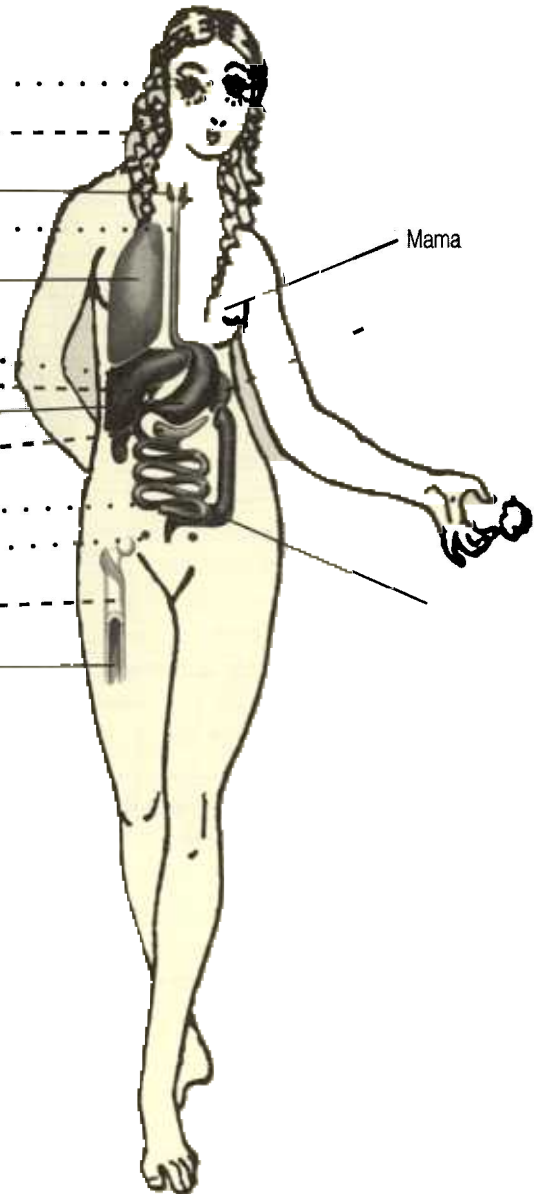
Ovarios . . . . .

Hueso - - - - -

Médula ósea: —————

Mama

Sensibilidad biológica  
Sensibilidad mecánica



básicamente de la transferencia lineal de energía de la radiación en cuestión, es decir, de la energía depositada en el tejido por unidad de longitud del recorrido de la radiación. Una dosis de 0 a 25 rem parece tener poca o ninguna consecuencia, de 25 a 100 rem se observan ligeros cambios en la sangre, de 100 a 200

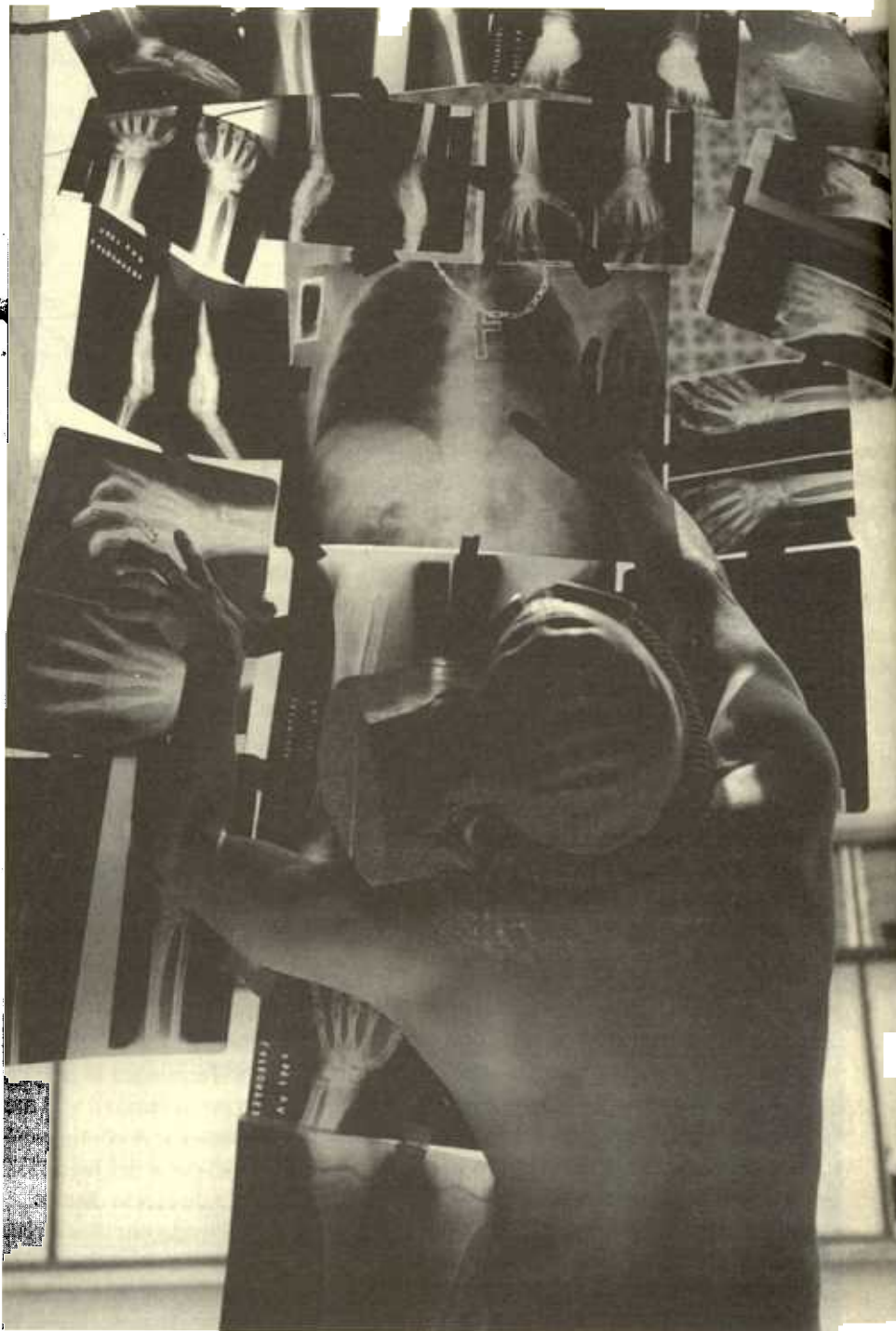
rems los perjuicios ya son observables, de 200 a 600 rems se afecta la médula ósea, en consecuencia la sangre, el daño genético es irreparable, los sistemas nervioso y gastrointestinal se ven seriamente lesionados y la probabilidad de morir se incrementa rápidamente.

para el diagnóstico, e identifican con ayuda de una computadora más de 2 000 densidades diferentes de tejido. Pueden determinar la localización y el tipo de información y diferenciar así entre varios tipos de tumores, cosa imposible para los equipos de rayos X convencionales.

Además de emplearse como herramientas de diagnóstico, los radioisótopos se emplean en el tratamientos de diferentes tipos de carcinomas (tumores cancerosos). Por ejemplo, el yodo radiactivo llevado a la tiroides se concentra en el tejido canceroso y destruye las células malignas. En el cuadro 3 se listan algunos de los radioisótopos más empleados en la medicina, así como sus aplicaciones terapéuticas y de diagnóstico.

Muchos tipos de crecimientos cancerosos pueden ser atacados por medio de cirugía o por tratamiento de radiación. En muchos casos la acción de la radiación tiene distintas ventajas. Por ejemplo, en el cáncer de laringe la remoción quirúrgica de ésta tiene un 80% de éxito, pero este procedimiento invariablemente afecta el funcionamiento de la voz y deja al paciente totalmente incapaz de hablar o con severos problemas para hacerlo. Esto es evitable si se irradia el tumor canceroso empleando una fuente radiactiva externa, como  $^{60}\text{Co}$  radiactivo, que proporciona energías de 1 MeV y que es frecuentemente usado en tratamientos que requieren penetraciones profundas.

Recientemente se ha incrementado el uso de haces de electrones acelerados hasta energías de 4 MeV en aceleradores lineales compactos diseñados especialmente para uso médico. Quizá la mejor forma de irradiar un tumor profundo es usar haces de alta energía de iones pesados, como carbón, oxígeno o neón, ya que se ha demostrado que estos haces pueden liberar grandes dosis de radiación a la región deseada, mientras los tejidos sanos que la rodean son irradiados con dosis relativamente bajas. Sin embargo, debido al alto costo de los aceleradores de iones pesados, los tratamientos de radiación rutinarios de este tipo se ven lejanos. ●



Miguel Morales, *Estos días*, 1996

**María Cristina Piña Barba**  
Instituto de Investigaciones en Materiales,  
Universidad Nacional Autónoma de México.

*Literatura recomendada*

- Ma. Cristina Piña Barba. 1987. *La Física en la medicina*, La Ciencia desde México, FCE, México.
- David Jou, Josep Enric Llebot y Carlos Pérez García. 1994. *Física para las ciencias de la vida*, Mac Graw Hill/Interaamericana de España, España.
- Jerry B. Marion, William F. Hornyak. 1985. *General Phy-*

*sics with Bioscience Essays*. John Wiley & Sons, Nueva York,

- John R. Cameron, James G. Skofronick. 1978. *Medical Physics*, John Wiley & Sons, Nueva York.
- Arthur Beiser. 1977. *Conceptos de física moderna*. Mac Graw Hill, México.
- D.M. Burns y G.G. MacDonald. 1975. *Physics for Biology and Pre-medical Students*. Addison Wesley Publishers Limited, Ontario.
- M.A. Preston. 1982. *Physics of the nucleus*. Addison Wesley Publishing Co.