

Desde hace varios millones de años los seres vivos han estado sometidos a la radiactividad procedente en gran parte de fuentes naturales. Con el descubrimiento de la energía nuclear los niveles de radiactividad han crecido sustancialmente como consecuencia de las explosiones atómicas, la explotación de reactores nucleares, aceleradores de partículas y el uso de radioisótopos en medicina.

LA CONTAMINACION RADIATIVA EN NUESTRA VIDA DIARIA

Por José Aguilar Peris

La radiación natural varía considerablemente de unos puntos a otros de la Tierra y tiene su origen en dos fuentes principales: **Terrestre**, debido a minerales de uranio y torio y **Extraterrestre**, procedente de la radiación cósmica. En algunas regiones montañosas, asentadas sobre yacimientos de minerales radiactivos, la contaminación puede ser muy elevada. Dos de estas áreas son la región de Kerala en la India y la región del Espíritu Santo en el Brasil. Pero en general, estamos sometidos a una moderada e inevitable radiación de fondo. La madera, la tierra, los ladrillos, el cemento y casi todos los materiales naturales poseen asociada cierta radiactividad.

Además, la propia Tierra está bombardeada constantemente por partículas de alta energía procedentes del espacio exterior. Es la **radiación**

cósmica o extraterrestre, cuya componente primaria está formada en un 90 por 100 por protones (núcleos de hidrógeno) de alta energía. Al llegar a la atmósfera terrestre chocan con los componentes del aire y producen un espectro de **radiación secundaria** formado por partículas elementales de menor energía. Estas partículas cósmicas no sólo atraviesan la atmósfera, sino que a veces penetran a grandes profundidades en la Tierra. En su recorrido atraviesan nuestro cuerpo con un ritmo de una o más cada segundo. Normalmente, las células dañadas —si las hay— en estos procesos, se reemplazan y el organismo en su conjunto no experimenta ninguna alteración. Esto no excluye que en alguna ocasión sea dañado un gen celular y éste pase una información falsa en el proceso de la reproducción, lo que podría dar lugar a una **mutación**. Estos procesos son inevitables y hay razones para supo-

ner que muchas de estas mutaciones han sido beneficiosas a lo largo de millones de años de evolución.

¿Cómo se miden las radiaciones?

La actividad de una fuente de radiación es proporcional a su intensidad, es decir, al número de partículas que emite por unidad de tiempo. Como unidad se introdujo en 1910 el **curie (Ci)**, en una época en que no se conocía más que la radiactividad natural y el principal radioelemento era el radio. Al considerar los efectos biológicos, las unidades de radiación utilizadas son el **rad** y el **rem**. El rad es la unidad de dosis absorbida, pero es un hecho comprobado que dosis absorbidas iguales, procedentes de diferentes tipos de radiación ionizante, producen daños biológicos muy diversos; es decir, ciertas partículas poseen una mayor efectividad biológica relativa que otras. Esta eficacia, combinada con la dosis absorbida, se expresa en **rem (Radiation Equivalent Man)**, unidad que se utiliza para medir las exposiciones que recibe el personal destinado en centros donde se manipulan sustancias radiactivas. Estas personas llevan consigo dispositivos electrónicos o emulsiones fotográficas que registran la radiación recibida durante su trabajo.

Efectos fisiológicos de la contaminación radiactiva

Los efectos del daño por radiación a una persona pueden dividirse en dos categorías:

a) Efectos sobre los individuos expuestos: efectos somáticos.

b) Efectos sobre los descendientes: efectos genéticos.

Por el tiempo de exposición hay que distinguir entre:

a) Exposición a largo plazo o **crónica** (a nivel relativamente constante).

b) Exposición **aguda** en un tiempo muy corto.



Fuente: Electricité de France.

No todo el daño por radiación es acumulativo. Así, un individuo puede no presentar efectos somáticos a una exposición de 50 rem distribuidos uniformemente durante un periodo de 50 años. En cambio, si esta dosis fuera recibida en un tiempo muy corto sería altamente peligrosa. De todos modos, no hay un nivel de radiación por debajo del cual el daño sea nulo para el hombre: toda la radiación es dañina en cierto grado. Por ello, aunque no podamos escapar de la radiación de fondo, existen sobradas razones para evitar cualquier crecimiento importante de la radiación a que está sometido nuestro cuerpo.

Efectos genéticos de la radiación

Cuando las partículas emitidas por las sustancias radiactivas atraviesan una célula viva, chocan con los átomos, separan los electrones de los núcleos (ionización) y pueden



PELIGRO

RADIACION

La dosis media de radiación natural absorbida por un hombre es del orden de 125 mrem/año. Esta radiación procede de los rayos cósmicos (45 mrem/año), de la propia tierra (55 mrem/año) o de radionúclidos existentes en el propio organismo (25 mrem/año). Fuente: Electricité de France.



PELIGRO

RADIACION

Una radiografía dental equivale a una dosis de radiación de 20 mrem (en dos sesiones). Radiografía dental 20 milirems en dos segundos. Fuente: Electricité de France.

producir un cambio radical en la química celular. Estos procesos pueden destruir la célula o, lo que es peor, alterar su función y provocar en algunos casos una multiplicación indiscriminada de células cancerosas.

Cuando estas partículas son de alta energía pueden producir mutaciones biológicas y afectar a la evolución de la especie. Una **mutación** es cualquier alteración de una molécula de ADN (la molécula que transporta la información genética) en un óvulo o una célula de espermatozoos. Si una de estas células alteradas se apareja con otra de sexo opuesto, la descendencia resultante transportará la alteración en toda célula de su cuerpo, incluyendo sus células sexuales. Así tal alteración es transmitida a futuras generaciones.

Se han realizado muchos experimentos con insectos y animales, pero los resultados no son directamente aplicables al hombre, y aunque también se

El mayor peligro del reactor nuclear es el accidente imprevisible

han llevado a cabo estudios extensos con los supervivientes de Hiroshima y Nagasaki y sus descendientes, todavía no han transcurrido suficientes generaciones para verificar resultados fiables. Las observaciones son difíciles, pues algunos defectos de nacimiento son debidos a causas ajenas a la radiación y también puede influir la radiación natural.

El problema de las explosiones atómicas

Durante muchos años, después del descubrimiento del radio por los esposos Curie, el uso de la radiación en medicina estuvo restringido al uso de esta sustancia y al empleo de los rayos X. Las radiografías en medicina y odontología y la destrucción de células cancerosas eran los objetivos fundamentales. La industria se benefició de estas técnicas para detectar defectos en soldaduras y fundiciones y la ciencia básica determinó con éxito estructuras

de moléculas y cristales. Sin embargo, científicos, médicos e industriales recibieron dosis masivas de radiación y muchos (Mme. Curie entre ellos) fueron víctimas de tumores malignos que sólo aparecieron años después de que la exposición se había realizado.

Con el advenimiento de los aceleradores de partículas en los años treinta, el número de materiales radiactivos disponibles se incrementó ampliamente, pero la humanidad no apreció realmente el peligro de la radiación hasta el final de la II Guerra Mundial (1945) cuando las bombas atómicas destruyeron Hiroshima y Nagasaki y causaron cientos de miles de muertos y de heridos graves por radiación.

Una consecuencia directa de las explosiones nucleares es la **lluvia radiactiva** o **fallout**. La mayor parte de los isótopos radiactivos producidos en la explosión son transportados a la atmósfera en forma de partícula-

EFECTOS DE DOSIS AGUDAS DE RADIACION (TODO EL CUERPO)

Dosis (rem)	Efectos	Observaciones
0-25	No detectables	—
25-100	Alteraciones en la sangre leves	Daños leves en la médula ósea
100-300	Disminución importante de glóbulos blancos	Tratamiento con antibióticos
300-600	Infección, hemorragias y esterilidad temporal	Antibióticos, transfusiones y a veces trasplantes de médula
600	Graves daños en el sistema central	Hasta 1.000 rem, muerte en dos meses. De 1.000 a 5.000 rem, muerte en dos días

Resumen de los efectos de una dosis sobre todo el cuerpo en un tiempo muy corto, basados en observaciones sobre las víctimas de los bombardeos de Hiroshima, Nagasaki y el atolón de Bikini, accidentes en reactores nucleares y extensos estudios sobre animales expuestos a la radiación.

DOSIS DE RADIACION RECIBIDAS EN UNA EXPOSICION DE DIAGNOSIS CON RAYOS X

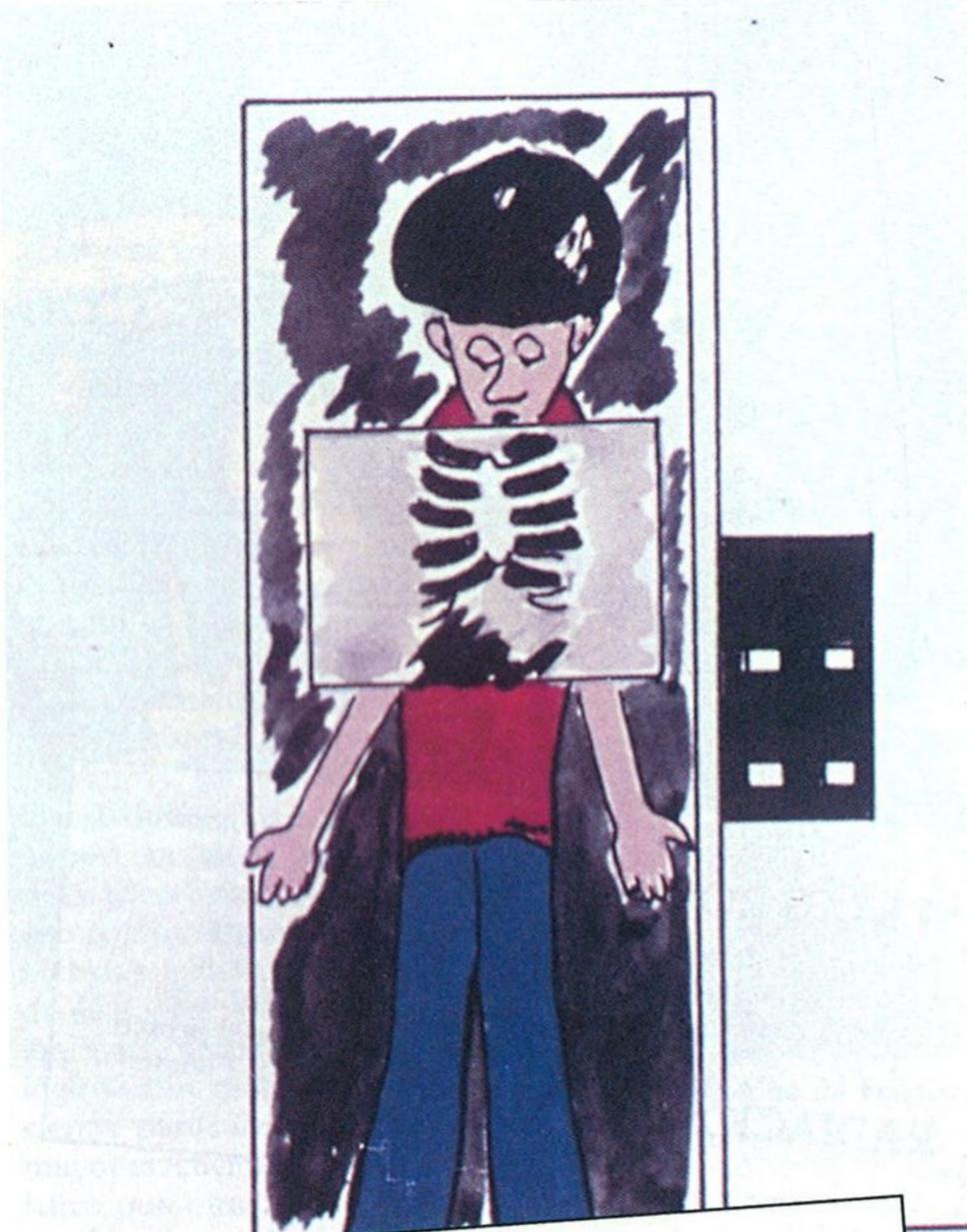
Diagnosis	Dosis (mili-rem)
Dental (toda la boca)	10-30
Tórax	5-35
Cerebro	20-50
Vesícula biliar	25-60
Serie gastrointestinal (inferior)	90-250
Serie gastrointestinal (superior)	150-400
Mamografía	250-300

Aproximadamente la tercera parte de la dosis anual de radiación recibida por un ciudadano procede de diagnosis médicas con rayos X. Esta contribución podría ser sustancialmente reducida eliminando o restringiendo las técnicas de rayos X a los casos verdaderamente necesarios. Durante los años cuarenta en los almacenes de zapatería se utilizaban (¡legalmente!) aparatos de rayos X para comprobar el ajuste de los zapatos en el pie del comprador, especialmente cuando se trataba de niños.

las de polvo. Estas partículas vuelven gradualmente a la Tierra en forma sólida o arrastradas por la lluvia. Naturalmente el proceso es más severo en las primeras horas después de la explosión y su incidencia mayor en la dirección de los vientos dominantes.

El estroncio-90, uno de los componentes más importantes de la lluvia radiactiva, se fija en los huesos cuando es ingerido por el hombre. Este proceso es grave porque los glóbulos rojos de la sangre se generan en la médula ósea y el estroncio radiactivo es causa de la leucemia o cáncer de la sangre. El depósito de este producto sobre la piel causa poco daño, pues si

Casi todos los materiales naturales llevan asociada cierta radiactividad



PELIGRO

Un examen radiológico puede suponer la absorción de una dosis de radiación del orden de 50 mrem.
Fuente: Electricité de France.

RADIACION

se elimina por lavado en un plazo de unas horas, sólo una pequeña fracción de los núcleos del estroncio se desintegran en ese tiempo (el periodo de semidesintegración es de 30 años), pero si se ingiere y se fija en los huesos, allí permanecerá muchos años produciendo daños irreversibles.

El **fallout** ha decaído en los últimos años y seguirá disminuyendo si se mantienen los tratados de no proliferación de las fuerzas nucleares; actualmente puede ser del orden de 5 rem por año e individuo.

Las centrales nucleares

Los peligros radiactivos de

las centrales nucleares son muy pequeños comparados con los peligros potenciales de las armas atómicas. Incluso es posible que estas centrales liberen a la atmósfera menos radiactividad que las centrales de carbón, fuel oil y gas natural. Sin embargo deben tomarse precauciones rigurosas en la localización, diseño y supervisión de las centrales nucleares en función de los materiales altamente radiactivos que existen en su núcleo.

El mayor inconveniente de la explotación de la energía nuclear es la radiactividad de los productos de fisión del uranio. La fisión completa de 1 g de este combustible da lugar a la

VALORES MEDIOS DE DOSIS DE RADIACION ABSORBIDOS EN NUESTRA VIDA COTIDIANA

Origen natural	Mili-rad/año
Rayos cósmicos	45-50
Terrestre (exposición externa)	55-60
Radionúclidos (exposición interna)	25
TOTAL NATURAL	125-135
Origen artificial	
Rayos X (diagnóstico)	50-60
Ocupacional	1
Pruebas nucleares	1
TOTAL ARTIFICIAL	50-60
TOTAL ABSOLUTO	175-195 mili-rad/año

ACTIVIDADES DE ALGUNAS FUENTES RADIATIVAS

(Valores aproximados)

Mineral de uranio al 10%	$3,5 \times 10^{-6}$ Ci/Kg
Fuente utilizada en gammagrafía	0,1—1 Ci
Bomba de Cobalto-60 en tratamientos médicos	2.000—5.000 Ci
Fuentes para estudios químicos	100.000 Ci
Bomba A (fisión) equivalente a 20 kton de TNT (Bombas de Hiroshima y Nagasaki, 6 y 9 agosto 1945, un minuto después de la explosión)	2×10^{12} Ci

DOSIS MAXIMA PERMISIBLE

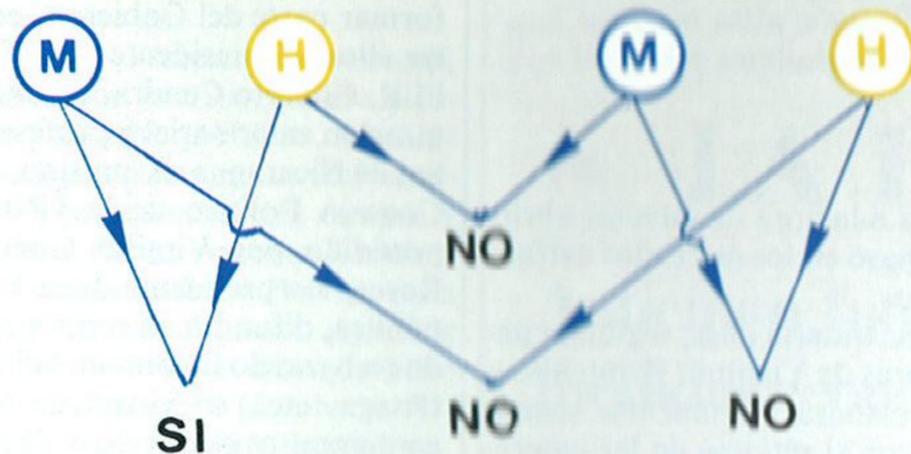
(Ocupacional)

Exposición	En un año
Todo el cuerpo (Límite anual)	5 rem
Piel	15 rem
Manos	75 rem
Antebrazos	30 rem
Otros miembros del cuerpo	15 rem
Mujer embarazada (respecto al feto)	0,5 rem
Media de la población (no ocupacional)	0,17 rem

Recomendaciones sobre la dosis máxima permisible en exposiciones recibidas por causa del trabajo ocupacional.

fecundos

estériles



Al inyectar en un territorio insectos estériles (tratados con radiación) los acoplamientos al azar entre machos (M) y hembras (H) hacen disminuir el número de descendientes.

Ochocientas mil personas tuvieron que pasar examen médico tras el accidente de Tchernobyl

emisión dentro del reactor de $9,9 \times 10^{15}$ desintegraciones/segundo, lo que equivale a una radiactividad superior a 200.000 curies. Esto complica notablemente los procesos de tratamiento del combustible utilizado. Las barras de combustible deben retirarse periódicamente, purificar y reciclar parte del material y eliminar las cenizas radiactivas, enterrándolas en minas profundas de sal o lanzándolas al mar envasadas en recipientes herméticamente cerrados, lo que provoca serios problemas sociológicos.

Sin embargo, el mayor peligro del reactor nuclear es el accidente imprevisible. En el momento del accidente de Tchernobyl (25 abril, 1986) existía sobre Ucrania un régimen de alta presión atmosférica con vientos casi nulos a nivel del suelo. Un ligero viento del SE

arrastró el penacho radiactivo a una altura inicial de 1.200 m en forma de nube hacia Polonia, Finlandia y Suecia. Dos días después de la explosión se registraba en Suecia la primera elevación anormal de radiactividad del aire con la presencia de elementos volátiles de vida breve. La presencia del bario hacía presagiar la del estroncio-90.

Poco después y siguiendo la dirección de los vientos dominantes la nube pasó por Dinamarca, Alemania, Suiza y SE de Francia y posteriormente alcanzó Yugoslavia, Bulgaria y Turquía. Excepto Inglaterra, Portugal y España, toda Europa fue afectada por la nube radiactiva, si bien fuera de la URSS las dosis fueron débiles y no provocaron daños inmediatos. En las zonas próximas al reactor los daños radiactivos afectaron a 75 millones de habitantes. Se ha estimado que la dosis individual media adicional recibida por estas personas, aunque apenas sobrepasa la dosis natural recibida en un año en una región granítica, puede suponer en los próximos 70 años un número de cánceres suplementarios del orden de 4.000. Las consecuencias económicas fueron enormes: traslado de 135.000 personas, descontaminación en un área de 1.000 km², 800.000 exámenes médicos, construcción de alojamientos, graves daños en la agricultura y el ganado, etc. Fuera de Rusia se tomaron medidas preventivas respecto al consumo de leche, verduras, aguas superficiales, etc. El accidente de Tchernobyl es una prueba evidente de que el uso de esta energía conlleva la necesidad de un mayor rigor y control en la construcción y funcionamiento de los reactores nucleares. ■

José Aguilar Peris es catedrático de Termología y profesor emérito de la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense. Ha sido presidente de la Real Sociedad Española de Física y Química y del Grupo Nacional de Termodinámica.