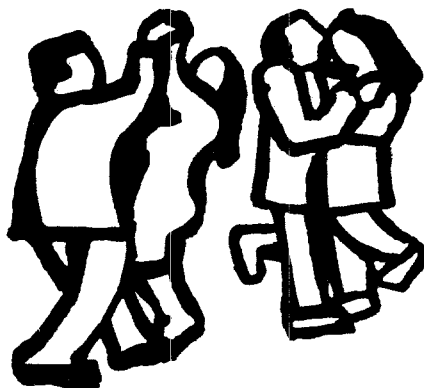
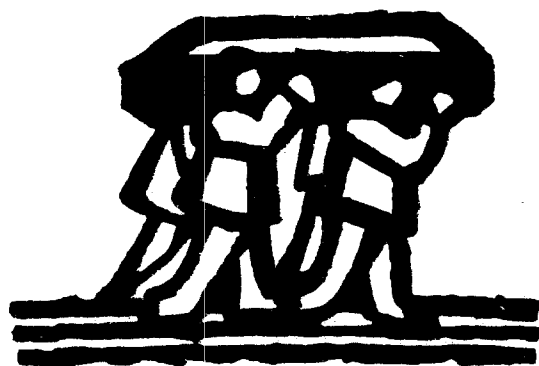


Coyuntura





Efectos de las radiaciones ionizantes sobre la salud

Marco Antonio Martínez Negrete

Introducción

El propósito de este artículo es mostrar de manera sintética cuáles son los efectos que producen las radiaciones ionizantes sobre la salud humana. Sólo se tomarán en cuenta las radiaciones que provocan la ionización de átomos y moléculas, es decir, se dejarán de lado a todas las formas de radiación que por su baja energía no despojan a átomos y moléculas de sus electrones: sonido, ultrasonido, infrasonido, ultravioleta, infra rojo, microondas, radiofrecuencia y ondas largas.

Las radiaciones que sí ionizan son aquellas emitidas por los materiales radiactivos producto de la operación de centrales nucleoelectricas, instalaciones nucleares militares, aparatos médicos, rayos cósmicos, etc. Los materiales radiactivos emiten, en forma concisa, tres tipos de radiaciones ionizantes: rayos alfa (partículas compuestas por dos protones y dos neutrones), rayos beta (electrones), y rayos gamma (luz de alta energía, como la visible, pero un millón de veces más energética).

Actualmente no hay controversia sobre el efecto que ocasionan las radiaciones a dosis altas, puesto que se puede encontrar una relación causa efecto bastante precisa. La controversia se centra en el daño que las dosis de radiación a bajo nivel provocan en los seres humanos. La controversia adquiere más y más importancia en la medida en que el mundo ha sido invadido progresivamente por materiales radiactivos originados por las pruebas nucleares,

por la emisión de contaminantes generados en todas y cada una de las partes del ciclo de combustible nuclear para la generación de electricidad (minería, tratamiento químico, fabricación del combustible, uso, desechos) por las múltiples aplicaciones de los radioisótopos en la medicina, industria y agricultura, etc. En todas estas instancias hay la oportunidad de que los materiales radiactivos escapen al medio ambiente para irradiar, en principio a bajas dosis, a los seres humanos y a otros organismos vivos del medio ambiente. En vista de que estos organismos pueden ser parte de las cadenas alimenticias que terminan en el humano, las concentraciones finales de los materiales radiactivos suelen ser varias veces superiores a las concentraciones originales de salida de las instalaciones nucleares.

Las radiaciones. Unidades de medida

Cuando las radiaciones inciden sobre el cuerpo humano, pueden suceder cuatro efectos principales:

- a) La radiación pasa a través de la célula sin producir daño;
- b) La radiación mata la célula o la deja incapaz de subdivisión posterior;
- c) La radiación daña la célula de tal forma que el perjuicio es reparado adecuadamente; y
- d) La célula es dañada pero sobrevive y se multiplica en forma perturbada durante un lapso de años,

de 5 a 70 años, formando una aglomeración de células que eventualmente se diagnostica como tumor maligno.

Las radiaciones pueden incidir desde fuera y desde dentro del cuerpo humano. Desde fuera lo hacen los rayos cósmicos (que provienen del Sol), los rayos X, y las tres formas de radiación consideradas elementales antes, cuando los materiales radiactivos que las emiten se hallan en el medio ambiente, fuera del cuerpo. Dado que los materiales radiactivos pueden entrar al cuerpo humano por aspiración o por ingestión de alimentos, la radiación externa se convertirá en interna por esos mecanismos. Ya dentro del organismo, los procedimientos de medida se vuelven complicados, siendo necesario recurrir a modelos teóricos para determinar niveles de radiación interna, en función de los valores que tiene la radiación en el exterior.

Unidades de medida

El roentgen, unidad de exposición. La exposición vale sólo para radiación electromagnética (rayos X o gamma); expresa el número de pares de iones eléctricamente cargados, formados en un kilogramo de aire.

$$1R = 2.58 \times 10^{-4} \text{ coulomb/kg-aire}$$

El rad, unidad de dosis absorbida. Esta cantidad se relaciona más directamente con el efecto de la radiación en cualquier material; mide la energía radiante absorbida (es decir, convertida en energía térmica) en el material.

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ ergs/g} = 0.01 \text{ joule/kg}$$

El rem, unidad de dosis equivalente. Se define para tomar en cuenta el efecto biológico de la dosis absorbida (expresada en rads), según el tipo de partículas que componen la radiación. La dosis equivalente se expresa en términos de la dosis absorbida por:

$$D_{eq} = Q D \text{ absorbida}$$

Q es un factor de calidad que toma en cuenta el tipo de radiación. Así, Q toma el valor de 10 para partículas alfa, las que por su gran masa causan un daño mucho mayor que la radiación electromagnética, o los electrones, a igual cantidad de dosis absorbida. Por esto si la dosis absorbida de partículas alfa es de un rad, la dosis equivalente es sin embargo de 10 rems. La idea subyacente es que la dosis de un cierto número de rems a un órgano dado causa el mismo daño biológico, independientemente de la clase de radiación que fue absorbida.

Como comparación, por la radiación natural estamos expuestos a unas 130 milésimas de rem al nivel del mar, y a unos 200 milirems en la ciudad de México; por una radiografía dental sufrimos una dosis de unos 10 milirems.

Evidencias de daño radiactivo, a alto y bajo nivel de dosis, para los trabajadores y para la población en general

Los habitantes de Hiroshima y de Nagasaki fueron sometidos a altas y bajas dosis de radiación, producto de las bombas atómicas con que fueron bombardeados. A partir de tan siniestra experiencia ha sido posible la detección de cinco "ondas" sucesivas de muerte por radiaciones, cada una afectando a poblaciones más grandes que la anterior:

a) Las primeras ocurren casi inmediatamente entre personas expuestas a muy altos niveles de radiación (superiores a 200-450 rems, a cuerpo entero). La radiación arrasa con su sistema nervioso central, produciendo la muerte en horas, o aun en minutos.

b) Las expuestas a dosis muy inferiores de radiación (100-200 rems) escapan a esta suerte, sólo para morir por daño gastrointestinal la primera o segunda semana después de la exposición. Los síntomas incluyen anorexia, náusea, vómito, diarrea, calam-

bres intestinales, salivación, deshidratación y pérdida de peso.

c) La tercera onda de muertes (por exposición entre 25-100 rems) afecta a las personas que evitan el daño gastrointestinal, o que hasta se recuperan de él, sólo para morir un mes o dos después por daño a la médula espinal, que es el tejido responsable de la formación de la sangre. En caso de la destrucción de demasiadas células, los síntomas incluyen sangrado debajo de la piel, en la boca, y en los órganos internos. La pérdida de glóbulos blancos hace al cuerpo particularmente susceptible a infecciones.

Estas tres primeras ondas mortales, llamadas "muertes tempranas", son seguidas por otras dos ondas, las que son responsables de la gran mayoría de decesos por cáncer. Normalmente las tres primeras ondas son atribuibles a las radiaciones a dosis alta, en tanto que las dos últimas ondas mortales (o "muertes tardías") son adjudicables a las radiaciones a bajo nivel. Este gran número de muertes es, sin embargo, más difícil de adjudicar a la exposición a las radiaciones, en vista de que los tipos de cáncer producido por éstas son indistinguibles de los que ocurren naturalmente.

d) Primero vienen las leucemias, particularmente en niños. Los primeros casos debidos a Chernobil se detectarán en un par de años, y el número de muertes alcanzará su máximo en algo así como una década, para declinar y desaparecer finalmente en unos 25 años a partir de 1986.

e) Justo cuando el máximo de la onda de las leucemias pasa, empieza a levantarse la onda final, que corresponde a la aparición del cáncer en mamas, tiroides, pulmón, estómago, hígado, intestino grueso, huesos, esófago, intestino delgado, vejiga, páncreas, recto y tejidos linfáticos, aproximadamente en ese orden de frecuencias. Nadie sabe cuándo pasará la onda. Para el caso de Chernobil los números continuarán creciendo por lo menos hasta el año de 2025.

El que debajo de cierta dosis de radiación los efectos cancerosos se confundan con los casos de cáncer naturales, no significa que existe una "dosis umbral", es decir, un nivel de radiación debajo del cual la radiación es inocua. La evidencia experimental acumulada a lo largo de los años ha venido a demostrar que cualquier dosis de radiación puede provocar daño. La única incógnita es el tiempo de aparición de la enfermedad, si al corto, al mediano, o al largo plazo.

Se ha demostrado que el riesgo de leucemia se incrementa linealmente con la dosis por lo menos desde 0.8 rad, y que el riesgo de cáncer en la tiroides se incrementa linealmente con la dosis por lo menos de 6.5 rad. Estos y otros datos prueban que la hipótesis de una relación lineal entre exposición y efecto de las radiaciones de mantiene a dosis tan bajas como sea posible la observación, y que, por tanto, no existe un "umbral". O sea que, las dosis indicadas no son las dosis a las que la hipótesis lineal deja de ser válida, sino los dos valores más bajos sobre las curvas de exposición humana para estas dos enfermedades. Todo indica que la linealidad de estas curvas continúa hasta la dosis cero, y que una linealidad semejante existe para otros tipos de cáncer que simplemente tienen un tiempo de incubación más largo. Se debe enfatizar también que estos 0.8 rad son sólo el 5 por ciento de los 15 rad "permitidos" al año para la médula ósea de quienes trabajan con radiaciones, y que los 6.5 rad son sólo el 22 por ciento de los 30 "permitidos" para la irradiación de su tiroides.

Con fundamento en estos datos se puede negar el sentido para la salud de los trabajadores y la población de conceptos engañosos como "dosis permitidas". Estas dosis se definen para la emisión cotidiana, sin accidentes, de las instalaciones nucleares, particularmente las nucleoelectricas. Si no se puede hablar de "dosis umbral", tampoco tendrá funda-

mento operar dentro de una instalación en forma segura cuando la "dosis permitida" no es cero. Población y trabajadores estarán sometidos a riesgos de cáncer. Por alguna razón monetaria se acepta que la dosis permitida para los trabajadores sea de 10 veces la dosis que recibiría la población circundante a una instalación nuclear.

La percepción de que la hipótesis lineal tiene validez, de que las ondas de muerte por radiaciones aparecerán a cualquier dosis, aunque en tiempos largos, ha propiciado que los niveles máximos de exposición ocupacional permitidos hayan bajado por un factor de 10, y que el nivel para los miembros de la población se haya disminuido por un factor de 300. Pero el riesgo sólo desaparece a dosis cero, esto es lo seguro.

La ola de efectos genéticos, por otra parte, puede aparecer incluso hasta la décima generación, con saltos intergeneracionales. De acuerdo con H.J. Muller (premio Nobel), por cada mutación visible observada, producida por radiaciones, hay 10 mil invisibles o "pequeñas".

A vía de ilustración de los efectos somáticos que se esperan de Chernobil, se citan los datos calcula-

dos por el Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Princeton. Ellos esperan entre:

Dos mil y 40 mil casos de tumor en tiroides por iodo 131 inhalado, un pequeño por ciento de los cuales serán fatales;

10 mil y 250 mil casos potenciales de tumor en tiroides por iodo 131 absorbido vía la cadena pastovaca-leche;

3 500 y 70 mil casos de cáncer por exposición a cuerpo entero de cesio 137 (externa e interna), de los que aproximadamente la mitad serán fatales.

Para complicar la situación, las dosis que son "permitidas" para trabajadores y población circundante a instalaciones nucleares no toman en cuenta los distintos caminos por los que los efectos se pueden aumentar. En particular todas las dosis han sido calculadas subestimando las particularidades personales, del elemento radiactivo, de la composición química en que aparece, etc., de tal suerte que las dosis que realmente pueden experimentar las personas serán cientos y hasta miles de veces superiores a las calculadas teóricamente por los organismos reguladores y de salvaguardas.

Bibliografía Consultada

Effect of Radiation on Human Health, Hearings Before the Subcommittee on Health and the Environment, U.S. Government Printing Office, 1979.

Thomas B. Connolly, *Foundations of Nuclear Engineering*, Wiley and Sons, 1978.

Bulletin of the Atomic Scientists, august/september, 1986.

The Observer, *The Worst Accident in the World*, Pan Books, 1986.

Maurice Errera, *Mundo Científico*, núm. 51, Barcelona, 1985.

B. Franke et al. *Radiation Exposure to the Public from Radioactive Emissions of Nuclear Power Stations*, submitted to *The New Scientist*.