

# Los efectos radiobiológicos de las radiaciones de bajo nivel y el riesgo de cáncer

*Aunque existen opiniones contrarias al respecto, no hay una vinculación entre las radiaciones y el riesgo de contraer cáncer*

por  
R. Mukherjee y  
J. Mircheva

Los riesgos que representa para la salud la exposición a radiaciones ionizantes de bajo nivel, en particular los relacionados con el cáncer, atraen invariablemente una gran atención. Informes recientes sobre los niveles de radón en viviendas y edificios, la extensa precipitación radiactiva provocada por el accidente de la central nuclear de Chernobil en 1986 y la sospecha de que existen pequeños brotes de casos de cáncer en las cercanías de las instalaciones nucleares han coadyuvado a aumentar la preocupación por esos riesgos.

La lectura de informes de esta índole en la prensa diaria puede suscitar temores innecesarios y crear la impresión errónea de que, de alguna manera, las radiaciones constituyen la única o principal causa de cáncer en nuestro entorno. Nada más lejos de la verdad.

Lamentablemente, no es fácil corregir esas percepciones. Si bien se dispone de una virtual enciclopedia de información científica en materia de radiaciones de bajo nivel y sus efectos sobre la salud, la mayor parte de esa información aparece en publicaciones especializadas a las que el público en general no tiene fácil acceso.

Los antecedentes científicos abarcan conceptos y estudios básicos que podrían ayudar a poner en una perspectiva más clara la cuestión de las radiaciones y el riesgo de cáncer. En el presente artículo se examinan algunos aspectos importantes.

## Factores ambientales y de otra índole

Con el advenimiento del siglo XX tuvo lugar el descubrimiento de las radiaciones ionizantes y la radiactividad. En aquella época los pioneros del trabajo con radiaciones no conocían las consecuencias que tiene esa actividad para la salud y muchos de ellos resultaron seriamente afectados por neoplasmas radioinducidos, sobre todo carcinomas de la epidermis.

Esos dramáticos incidentes iniciales dieron origen rápidamente a una "época de ignorancia", a la que siguió una "época de esclarecimiento progresivo" sobre la radiobiología y la radiogenética. Con el paso del tiempo se establecieron los principios que rigen las relaciones dosis/efecto de las radiaciones, los cuales propiciaron la caracterización y el pronóstico cuantitativo de las tasas potenciales de incidencia de agentes cancerígenos en los animales y los seres humanos. Desde entonces se ha venido obteniendo gradualmente información al respecto mediante estudios epidemiológicos. A finales de los años cuarenta surgió otra importante fuente para el estudio directo de la exposición del hombre a dosis elevadas de radiación ionizante, a saber, los japoneses sobrevivientes de la bomba atómica.

Con todo, parece que los primeros casos de neoplasmas radioinducidos en seres humanos, junto con otros que se presentaron a través de los años, han ayudado a crear la opinión de que existe una "asociación exclusiva" entre las radiaciones ionizantes y el riesgo de que las personas contraigan cáncer. Esta idea surgió pese a los beneficios que comenzó a reportar la aplicación de las radiaciones en la medicina, y a la formulación de criterios y normas cuantitativas en materia de protección radiológica por parte de organismos como la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) y el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR).

También con el tiempo se ha hecho posible evaluar con exactitud la radiación natural de

El Sr. Mukherjee es Jefe de la Sección de Radioterapia y Radiobiología Aplicada de la División de Ciencias Biológicas del OIEA y la Sra. Mircheva es funcionaria de la Sección. Las opiniones expresadas en este artículo son de los autores y no reflejan necesariamente las del OIEA.

fondo. Se sabe que cualquier persona, ya viva en un país tecnológicamente avanzado o en un país en desarrollo, está inevitablemente expuesta a alguna baja dosis de radiaciones provenientes de fuentes naturales como, por ejemplo, el radón, los rayos cósmicos, las rocas y los suelos, así como el potasio 40 en la sal. Estas fuentes naturales son responsables de la mayor parte de la exposición del hombre a las radiaciones; la dosis anual media que recibe de ellas un individuo es aproximadamente 2,4 milisievert (mSv).

Otras fuentes de exposición a las radiaciones son las aplicaciones de diagnóstico médico y el ciclo del combustible nuclear, que, en condiciones de explotación normales, constituye una fuente secundaria de exposición para el hombre. La dosis media anual que recibe un individuo proveniente del ciclo del combustible nuclear es menos del 1% de los 2,4 mSv que emiten las fuentes naturales de fondo.

Además de las radiaciones, los seres humanos están expuestos a otras numerosas sustancias ambientales entre las que se encuentran los contaminantes químicos y los agentes genotóxicos nocivos, algunos de los cuales son agentes cancerígenos conocidos y, según se presume, importantes agentes de degradación ambiental. Entre dichas sustancias se encuentran contaminantes de energía fósil como los hidrocarburos policíclicos aromáticos o el benzo(a)pireno; los metales pesados tóxicos; el alquitrán y otros productos orgánicos idénticos a los agentes cancerígenos del humo de cigarro y gases nocivos como el dióxido de azufre y el óxido nitroso que están vinculados con el "efecto de invernadero" y el fenómeno del calentamiento global. También causan preocupación otros contaminantes industriales como el amianto, el cloruro de vinilo procedente de la industria del plástico y la dioxina.

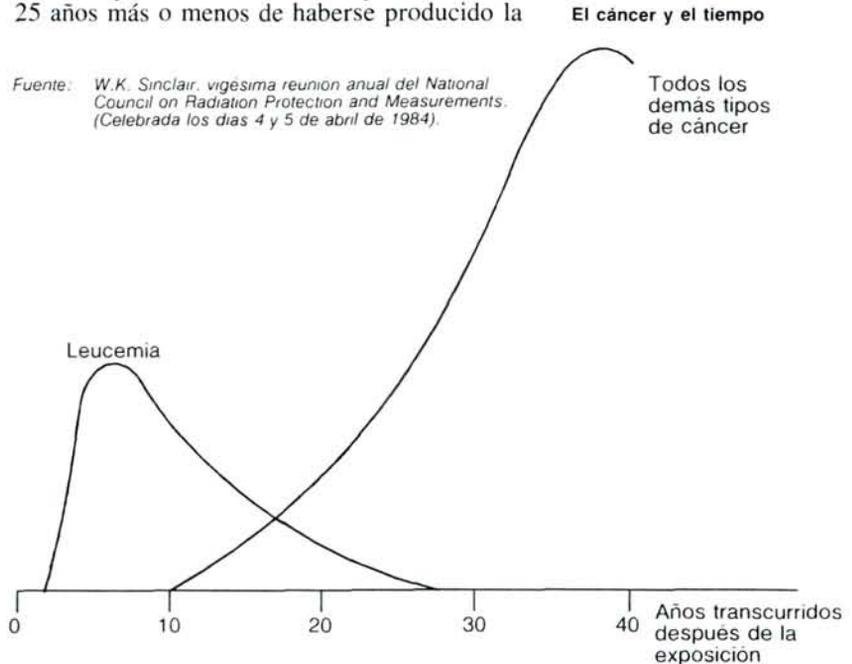
Esos agentes químicos, por sí solos o en interacción con la radiación ambiental, podrían intensificar sinérgicamente el riesgo carcinógeno para los seres humanos. La constante observación de coeficientes más altos de incidencia de cáncer en poblaciones de zonas urbanas en comparación con poblaciones de control de zonas rurales parece sustentar la afirmación de que el cáncer es una enfermedad ecológica.

### Estudios epidemiológicos y modelos de riesgo

Existe una amplia información sobre el cáncer inducido por altos niveles de radiaciones que se ha obtenido principalmente en los estudios exhaustivos realizados con sobrevivientes japoneses de los bombardeos atómicos de Hiroshima y Nagasaki en 1945. Además, se han llevado a cabo estudios epidemiológicos con pacientes expuestos a radiaciones durante tratamientos para la espondilitis anquilosante, el cáncer del cuello del útero y otras enfermedades, así como con poblaciones expuestas profesionalmente.

Los resultados de dichos estudios figuran en los informes especializados preparados conjuntamente por el Japón y los Estados Unidos en el marco de la Fundación para la Investigación de los Efectos de la Radiación (RERF), los cuales se basan en investigaciones realizadas con sobrevivientes de la bomba atómica durante toda su vida y con los descendientes. También se conocen los resultados de estudios realizados por el UNSCEAR, el Comité para el Estudio de los Efectos Biológicos de las Radiaciones Ionizantes (BEIR) del Consejo Nacional de Investigaciones de los Estados Unidos y otros trabajos importantes en materia de protección radiológica.

En términos generales, hasta el momento los estudios realizados con sobrevivientes de la bomba atómica han mostrado un aumento de la mortalidad entre esa población a consecuencia de varios tipos de cáncer. Se ha observado que la aparición de procesos malignos sigue una pauta determinada en cuanto al tiempo transcurrido desde la exposición a la radiación. (Véase el gráfico.) Primero aparece la leucemia tras un período latente corto de dos o tres años aproximadamente, alcanza una frecuencia máxima alrededor de los seis u ocho años, y luego decrece y casi tiende a desaparecer a los 25 años más o menos de haberse producido la



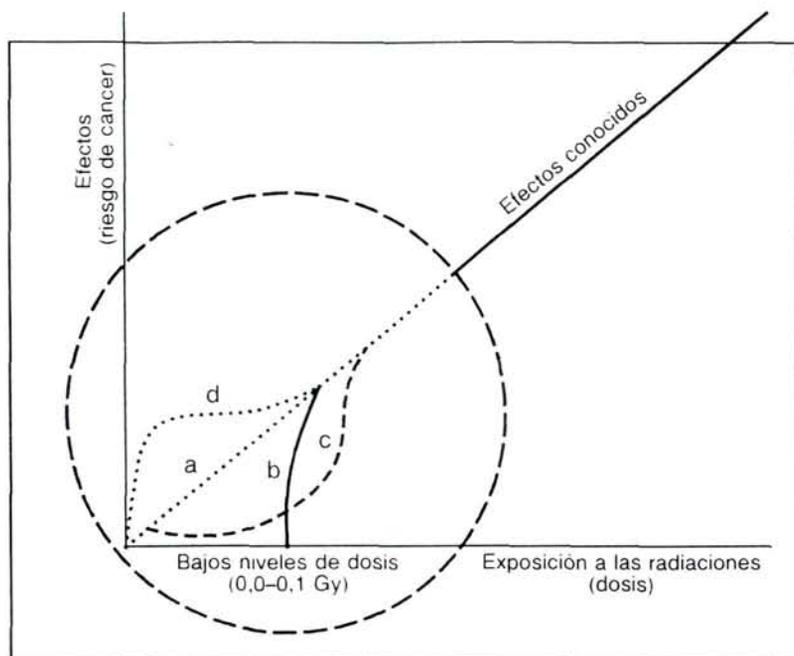
exposición. No obstante, otros tipos de cáncer distintos de la leucemia tienden a mostrar otro comportamiento. Si se pasan por alto algunos pormenores diferentes, se aprecia que los distintos tipos de cáncer tienden a aparecer por lo general, tras un período latente de unos 10 años después de haber ocurrido la exposición. Luego muestran un aumento progresivo que guarda relación con la dosis de radiación recibida y los parámetros dependientes de la edad.

Según las estimaciones de la CIPR y del UNSCEAR, el riesgo de cáncer por unidad de dosis absorbida, cuando se aplica a un indivi-

duo medio de la población en general a dosis y tasas de dosis elevadas fluctúa entre 4,5 y 7,1% por sievert (Sv) según el modelo de proyección utilizado.

Sin embargo, en cuanto a las radiaciones de bajo nivel (por lo general, menos de 0,2 gray), la información de que se dispone no confirma inequívocamente el riesgo de cáncer derivado de la exposición. Con todo, la hipótesis radio-

Algunos modelos propuestos para mostrar la variación de los efectos de las radiaciones a dosis de bajo nivel.



biológica es conservadora. Está basada en una relación lineal de dosis-respuesta que supone que toda exposición a la radiación, por pequeña que sea la dosis, podría, en principio, producir determinados efectos sobre la salud cuya magnitud sería proporcional a la dosis total de radiación absorbida. Esta hipótesis es el fundamento de las normas nacionales e internacionales de protección radiológica.

Cuando se trata de dosis y tasas más bajas, la mayoría de los radiobiólogos opinan que los riesgos potenciales para la salud son relativamente pequeños, según el modelo lineal. Sin embargo, algunos investigadores propugnan un umbral por debajo del cual el riesgo es efectivamente cero; otros afirman que los riesgos disminuyen o aumentan proporcionalmente, a diferencia de los pronosticados por el modelo lineal. (Véase el gráfico.)

### Consideraciones radiobiológicas

A falta de datos concluyentes, este fundamento teórico rige las evaluaciones de los efectos que tiene sobre la salud la exposición a la radiación ionizante de bajo nivel. Las tasas de dosis que se estudian en este sentido son

muchas veces menores que las tasas más bajas para las que se han documentado claramente efectos (incluso el riesgo carcinógeno).

Los tipos comunes de cáncer, tales como el cáncer de mama en la mujer, de pulmón, del sistema gastrointestinal y la leucemia, pueden ser inducidos por varios agentes. La naturaleza de los cánceres inducidos por agentes químicos no es clínicamente diferente a la de los inducidos por radiación ionizante. Esto se ha comprobado mediante investigaciones de la biología y la genética de las células, en particular, de las funciones de las células y del ácido desoxirribonucleico (ADN), que es la base química y molecular de la herencia. (Véase la figura.) Existe similitud entre el daño molecular (lesiones) que ocasiona al ADN la radiación y el que ocasionan los productos químicos. En ambos casos las células afectadas pueden reparar el daño completa o parcialmente o pueden morir, según sea la magnitud de la exposición y el daño. Las células dañadas que sobreviven pueden actuar como "estímulos proliferativos" e iniciar una transformación carcinógena. La acción de factores externos y/o genéticos, como por ejemplo sustancias presentes en los alimentos o genes virales llamados oncogenes, podría acelerar el proceso. La probabilidad estadística de que este proceso de cáncer de varias etapas ocurra en una línea celular determinada es una función de todos esos factores y sucesos. Se estima que a dosis y tasas de dosis de radiación bajas, el riesgo de que se inicie el proceso cancerígeno es pequeño dada la eficacia de la capacidad de reparación inherente de las células. Se espera que los estudios actuales sobre radiobiología molecular amplíen la comprensión científica de la relación dosis-respuesta en términos más cuantitativos, y se consolide así el fundamento analítico de las evoluciones del riesgo de cáncer.

### En perspectiva

Dada la incidencia relativamente elevada de cáncer en la población en general, la determinación de los efectos adicionales de la radiación de bajo nivel ha resultado difícil y polémica. Los efectos sobre la salud quedan enmascarados por la manifestación normal de afecciones que pueden o no deberse a la exposición a las radiaciones. El análisis se complica aún más por el hecho de que no es posible aislar a una población testigo que no esté expuesta a las radiaciones.

Cuando se trata de niveles menores de 0,05 a 0,1 gray, como sucede invariable o muy frecuentemente con los casos de protección radiológica, los intentos de estimar el número de cánceres adicionales inducidos por la exposición a radiaciones de bajo nivel están sujetos a toda una serie de incertidumbres e hipótesis. Se acepta que en general el efecto probable de la exposición en un gran número de personas a radiaciones de bajo nivel puede ser un número relativamente bajo de casos de cáncer además

de los miles que ocurren naturalmente, años o aún decenios después de que se haya producido la exposición.

Las sociedades han estado y estarán inevitablemente expuestas a dosis insignificantes de radiaciones ionizantes originadas en fuentes naturales. En algunos lugares de la India, China, el Brasil y otros países, existen zonas habitadas en que los niveles de radiación natural triplican o cuadruplican la dosis media normal. Hasta ahora no se ha observado un aumento evidente de la incidencia de cáncer en esas poblaciones.

A raíz del accidente de Chernobil en 1986, en algunos informes se habló de una proyección para los próximos 70 años de hasta 10 000 a 20 000 casos de cáncer adicionales en una población afectada de casi 10 millones de personas. Incluso si así ocurriera, ¿podrían diferenciarse estadísticamente estos casos de cáncer de la incidencia espontánea natural de cáncer en esta amplia población? Expresado en términos netos lo más probable es que sólo uno o dos casos adicionales de un tipo de cáncer determinado puedan atribuirse a las radiaciones relacionadas con el accidente de Chernobil. La validez de los pronósticos de alta y de baja incidencia es igualmente incierta.

También se ha informado recientemente sobre un número aparentemente alto de casos de leucemia entre hijos pequeños de trabajadores de la planta de reelaboración nuclear de Sellafield. El aumento del riesgo de leucemia se ha atribuido a algunos cambios genéticos "enigmáticos" en las células germinales paternas de los casos de leucemia que se examinan. Sin embargo, esta conclusión se ha inferido del estudio de una muestra extremadamente pequeña, es totalmente opuesta a la de un estudio japonés similar y parece violar todos los mecanismos biológicos plausibles de la transmisión genética y la biología de la reproducción. En Hiroshima solo se detectaron 13 casos de cáncer, incluidos cinco casos de leucemia, entre 10 903 jóvenes (de 20 años de edad y menores) cuyos padres estuvieron expuestos a la precipitación radiactiva de la bomba atómica (su dosis media fue de 466 mSv). En un estudio simultáneo de control de casos realizado con 41 066 niños hubo 49 enfermos de cáncer, incluidos siete casos de leucemia. Estos estudios no muestran un efecto apreciable de la exposición de los padres a las radiaciones en el riesgo de incidencia de la leucemia infantil.

No deben desconocerse los riesgos de la exposición a las radiaciones de bajo nivel, que durante casi un siglo se han venido examinando concienzudamente. En ese mismo período, ha ido en aumento el reconocimiento de que los riesgos que suponen para la salud numerosos otros agentes colaterales ajenos a las radiaciones son considerablemente mayores. Otros muchos agentes son casi desconocidos.

El hecho de que siga habiendo incertidumbre sobre los efectos de las radiaciones de bajo nivel ha intensificado la controversia y la publicidad alrededor del tema. No obstante, ello también demuestra que si hay efectos éstos son

pequeños y es muy difícil confirmarlos de manera concluyente.

En tales circunstancias, parece que el conjunto de normas de protección radiológica, cuya base es conservadora, tiene un cimiento científico sólido. Cabe esperar que los futuros acontecimientos en la esfera de la radiobiología molecular brinden mayor cantidad de datos cuantitativos que ayuden a esclarecer más los mecanismos carcinógenos y comprender las relaciones dosis-respuesta.

Esquema de los mecanismos de inducción del cáncer

