

RADIACIÓN,

Salud y Sociedad

(Tercera parte)

LA DOSIS DE RADIACIÓN

Desde la década de los años treinta del siglo XX, la *Comisión Internacional sobre Protección Radiológica* (ICRP, por sus siglas en inglés) estableció recomendaciones orientadas hacia un objetivo fundamental: que cualquier exposición a las radiaciones que esté por encima de los límites normales conocidos como “radiación de fondo”, se reduzca al valor más bajo razonablemente posible. Este criterio se complementa mediante la adopción de los llamados “límites recomendados de dosis” que, modificados a través del tiempo, buscan proteger tanto a los trabajadores ocupacionalmente expuestos como al público en general, de sobreexposición a las radiaciones. Estos límites, cuya especificación más reciente data de 1990, no son obligatorios; sin embargo, muchos países los han adoptado dentro de sus reglamentos oficiales.

La unidad de medición de la radiación es el *sievert* (Sv), adoptada en honor del sueco Dr. Rolf Sievert, pionero en el campo de la protección contra las radiaciones. El *sievert* indica la cantidad de radiación absorbida por tejido vivo, así como los consecuentes efectos biológicos. Debido a que 1 *sievert* es una unidad de medida relativamente grande, se utiliza con frecuencia el *milisievert* (mSv). Para dar una idea de los valores de dosis que se miden con esta unidad, la dosis promedio que recibe una persona debido a la radiación de fondo es del orden de 0.001 a 0.002 Sv es decir, de 1 a 2 mSv por año. Otro

ejemplo lo constituye la radiación proveniente del gas radón en algunas construcciones, lo que significa un promedio de entre 1 y 3 mSv por año, aunque en algunos casos se pueden alcanzar valores diez o cien veces superiores. Finalmente, la toma de una placa de rayos X representa para el paciente una exposición de entre 0.2 y 5 mSv.

Cuantificación de los riesgos a la salud

Cualquier tipo de materia que intercepte las radiaciones emitidas por una sustancia radiactiva, sea ésta tejido vivo o no, es capaz de absorberla. Así, cada kilogramo de materia absorbe cierta cantidad de energía, expresada en *joules* (J). De aquí se deriva otra unidad, el J/Kg, usada para la medición de la dosis absorbida por la materia, a la que se le conoce como *gray* (Gy).

La dosis absorbida, por sí sola, no da indicación de los posibles efectos biológicos. Los daños que 1Gy de radiación alfa producen son aproximadamente 20 veces más graves que los ocasionados por 1 Gy de radiación gamma. Esto indica que el riesgo biológico de la radiación gamma es menor que el de la radiación alfa, pues aunque logra penetrar más profundamente en el tejido, interacciona menos con las moléculas del mismo. Así, mientras que un rayo gamma produce solamente daños aislados que pueden ser tolerados y reparados por el tejido afectado, en cambio las partículas pesadas, como las que constituyen la radiación alfa, son capaces de producir daños importantes en áreas reducidas, siendo por ello más nocivas para el tejido vivo.

El grado de riesgo biológico debido a diferentes tipos de radiación se calcula, multiplicando la dosis de radiación absorbida (Gy) por un *factor de peso* correspondiente a cada tipo de radiación. El valor del factor de peso más bajo corres-

ponde a la radiación gamma y es igual a 1; el más alto es 20, para la radiación alfa. Al multiplicar el valor de dosis de radiación absorbida por el factor de peso adecuado, la cantidad resultante es la *dosis equivalente*, expresada, como ya se mencionó, en sieverts. De esta manera, utilizando valores de dosis dados en sieverts, es posible hacer comparaciones independientemente del tipo de radiación involucrado.

Existen situaciones en las que la radiación se distribuye de manera uniforme en todo el cuerpo, como es el caso de la radiación de fondo; sin embargo, otras veces la exposición se concentra en zonas limitadas, como ocurre en la terapia por radiaciones, o en órganos específicos como en el caso de la radiación beta que actúa sobre la piel o el tratamiento con yodo de la tiroides. Puesto que la sensibilidad a la radiación varía en los distintos órganos, se emplean *factores de peso para tejido* que permiten establecer la equivalencia entre el riesgo debido a la exposición de una zona limitada del organismo, y el riesgo debido a una dosis a cuerpo entero. Para enfatizar el uso de factores de peso para tejidos, se emplea el término *dosis efectiva*. Por ejemplo, para exposición de la tiroides, el ICRP recomienda el uso de un factor de peso para tejido igual a 0.05; esto significa que si la tiroides absorbe una dosis de 1,000 mGy de radiación gamma, cuyo factor de peso como radiación es 1, la dosis efectiva correspondiente será de $1,000 \times 1 \times 0.05 = 50$ mSv. El concepto de *dosis efectiva* sirve por lo tanto para poner en una

misma base de comparación a todos los tipos de radiación ionizante potencialmente dañina.

Límites de dosis recomendados por el ICRP

Personal ocupacionalmente expuesto (POE).- De acuerdo al ICRP, la dosis de exposición anual a la radiación de los POE no debe ser superior a 50 mSv, ni debe exceder un promedio anual de 20 mSv durante un periodo de 5 años consecutivos. Si se trata de una mujer embarazada, se aplica un límite de dosis más estricto de sólo 2 mSv al abdomen durante todo el resto del embarazo. Los límites de dosis seleccionados tienen como objetivo que el riesgo para trabajadores ocupacionalmente expuestos a las radiaciones, no supere al riesgo ocupacional que se presenta en otras industrias consideradas como seguras.

Público en general.- Los límites de dosis para el público en general son inferiores a los que se aplican al personal

ocupacionalmente expuesto. El ICRP recomienda para el público una dosis promedio anual a las radiaciones no mayor de 1 mSv.

Empleo de radiaciones en pacientes.- No existen límites establecidos por el ICRP en el caso de pacientes en los que se utiliza algún tipo de radiación. En muchas ocasiones los estudios con rayos X someten a los pacientes a dosis que exceden varias veces los límites especificados para el público en general. En el caso de la radioterapia, las dosis llegan a ser de hasta cien veces las establecidas como límite para personal ocupacionalmente expuesto. Puesto que mediante el empleo de la radiación se pretende determinar si una persona se encuentra enferma o bien, curarla si lo está, se busca siempre que el beneficio del tratamiento supere con mucho el daño que conlleva el uso de radiaciones, aún el de dosis elevadas.

Uso del dosímetro

Dosis.- Para medir la dosis de radiación se utiliza el dosímetro. En lugares de trabajo tales como centrales nucleares, hospitales, industrias en las que se emplean rayos X y diversos centros de

investigación, se requiere el uso de dosímetros. Hay ciertos tipos de dosímetros de lectura inmediata, que se usan solamente durante la ejecución de una tarea de corta duración; otros, cuyo uso es rutinario, se colocan en un aparato lector con la finalidad de evaluar la dosis recibida, usualmente durante periodos de entre uno y tres meses. El dosímetro tradicional funciona a base de una película fotográfica almacenada en un contenedor hermético al paso de la luz. La radiación que penetra el dosímetro expone la película, misma que al ser revelada, permite discernir a partir de la medición del ennegrecimiento en la misma, la dosis de radiación recibida por quien lo portó. Una vez hecho lo anterior, se coloca película nueva en el dispositivo para volver a utilizarlo.

Un tipo de dosímetro más moderno, conocido como TLD o dosímetro termoluminiscente, es más sensible que el de película y puede utilizarse inmediatamente después de ser leído. Tam-



Algunos ejemplos de dosímetros personales

bién se emplean, sobre todo en centrales nucleares y en instalaciones de alto riesgo, dosímetros electrónicos que permiten su lectura en tiempo real en todo momento.

Razón de dosis.- Para determinar la razón de dosis, se recurre a un medidor de dosis. Este parámetro indica qué cantidad de dosis se ha recibido en una unidad de tiempo determinada. Por ejemplo, si en una hora se recibe una dosis de 0.5 mSv, entonces la razón de dosis será de 0.5 mSv/h; por lo cual en dos horas, la dosis recibida será de 1 mSv y en seis horas, de 3 mSv. Es decir, si la razón de dosis en un cuarto de trabajo es de 0.1 mSv/h y el límite de dosis para un trabajador laborando en esa zona es de 20 mSv, entonces el tiempo máximo que esa persona podrá permanecer en el cuarto no podrá rebasar de un total de 200 horas.

Incorporación de un radionucleido al cuerpo humano

La presencia de radionucleidos en el ambiente tiene sus causas en diversas fuentes. Entre los radionucleidos liberados a la atmósfera durante un accidente nuclear se encuentran el yodo 131 y el cesio 137. Existen otros como el cobalto 60, que es utilizado en la irradiación de alimentos; el antimonio 122, en el procesamiento de metales; el rubidio 88, en la manufactura de celdas fotoeléctricas; el tecnecio 99m, empleado en técnicas de diagnóstico médico, y el radón 222, presente en forma natural en el interior de muchas construcciones. Puesto que su incorporación dentro del organismo es posible ya sea mediante ingestión o inhalación, particularmente en el lugar de trabajo, es importante conocer las equivalencias entre los límites de dosis de exposición a las radiaciones recomendados en general y las dosis provenientes de los radionucleidos específicos.

El yodo 131 y la cadena alimenticia.- La fisión de los núcleos de uranio en un reactor nuclear produce gran cantidad de yodo 131 en estado gaseoso, lo cual posibilita su difusión al ambiente en el caso de una explosión en la instalación.

La vida media del yodo 131 es corta, de solamente 8 días, lo que significa que al cabo de ese lapso, su actividad habrá disminuido a la mitad de su valor original; después de 16 días, a una cuarta parte y a los 24 días, a sólo un octavo de la actividad inicial. Así, si el yodo radiactivo se introduce en la cadena de producción de la leche a través de la ingestión por el ganado de pastos afectados por la precipitación de este isótopo, la leche inmediatamente obtenida es considerada como no apta para ser ingerida. Sin embargo, si esa leche se llega a utilizar para la producción de queso, proceso lento que requiere de varios meses, no habrá actividad debida al yodo en el queso producido, el cual podrá ser consumido sin riesgo.

Vida media efectiva de las sustancias radiactivas dentro del cuerpo.- El hecho de que una sustancia radiactiva esté sujeta a un proceso continuo de desintegración, implica que la radiactividad en el ambiente debida a una posible precipitación radiactiva es un fenómeno temporal. Los isótopos de vida media corta presentes en dicha precipitación decaerán rápidamente, mientras que los de vida media más larga lo harán lentamente. De la misma forma, la actividad debida a la presencia de sustancias radiactivas en el cuerpo deberá ir disminuyendo, siempre y cuando no se produzcan nuevas incorporaciones de material.

Las sustancias radiactivas dentro del cuerpo son eliminadas del mismo de una manera más rápida que lo que su razón de decaimiento indicaría. Esto se debe a que estas sustancias son eliminadas del organismo además de por su decaimiento natural, por los procesos corporales de excreción de desechos. El efecto combinado de ambos procesos de eliminación se conoce como la “vida media efectiva”. La mayor parte de las sustancias radiactivas salen del cuerpo de manera relativamente rápida. Existen sin embargo, ciertos elementos que se dirigen a determinados órganos y permanecen en ellos, como el radio, que se aloja en el esqueleto. En este caso particular la excreción del elemento es lenta, siendo su vida media efectiva de varios años y exponiendo al cuerpo a una dosis interna de radiación.

Concentración de la actividad.- Inmediatamente después de producirse alguna precipitación radiactiva, la concentración de la actividad en la leche o en la carne puede alcanzar los 100 Bq por litro y los 300 Bq por kilogramo, respectivamente. Esto significa que en un litro de leche habrá 100 núcleos decayendo cada segundo y 300 en un kilogramo de carne. Aún con estos nive-

les, tanto la leche como la carne podrían ser considerados adecuados para su consumo humano puesto que, en algunos países, el límite superior de concentración de la actividad en alimentos para ciertos radionucleidos se encuentra alrededor de 1,000 Bq/Kg.

Concentración de radón y cáncer pulmonar.- Para la mayoría de las personas, la principal fuente de exposición a la radiación natural la constituye el radón, un gas radiactivo producto del decaimiento del radio 226 que, a su vez, decae en productos de vida media corta que permanecen en suspensión en el aire y que si son inhalados, penetran en los pulmones dando lugar con ello a una dosis interna de radiación.

A principios del siglo XX se observó en los trabajadores de las minas de uranio, expuestos a grandes dosis de radón, una marcada incidencia de cáncer pulmonar cuya ocurrencia podía estar asociada a la presencia del gas o bien causada o agravada por factores como la inhalación de polvos, minerales tóxicos o gases procedentes de los explosivos usados en las minas.

Aunque ningún estudio ha suministrado pruebas concluyentes acerca de la relación entre el radón y el cáncer pulmonar, en vista del riesgo se han tomado medidas para la eliminación de este gas de las construcciones o bien para reducir en lo posible sus niveles de concentración. Si bien en exteriores esta concentración es usualmente del orden de 10 Bq por metro cúbico de aire, en interiores puede variar entre 20 y 10,000 Bq/m³ o más. En muchos países se recomienda que la concentración de gas radón en construcciones nuevas no exceda 200 Bq/m³. En los casos en que se presentan valores promedio anuales superiores a 400 Bq/m³ se recomienda efectuar trabajos de renovación en los edificios con la finalidad de disminuir la presencia del gas.

** Traducción libre: Guillermo Duque y Mojica*