

## RADIACIONES IONIZANTES

Sobre la radiación ambiente, sus efectos sobre la salud y el accidente de Fukushima.

(Guillem Cortés Rossell. Investigación y ciencia. Mayo 2011. Pág.8-10)

A raíz de los daños sufridos en la central nuclear de Fukushima como consecuencia del tsunami provocado por el terremoto que asoló Japón el pasado mes de marzo, hemos podido leer gran cantidad de noticias sobre las fugas radiactivas y su impacto ambiental. La variedad y complejidad de los conceptos que subyacen bajo los datos publicados dificultan su interpretación por parte del público y los propios medios. A continuación presentamos una breve guía para orientarse en este mar de información.

La radiactividad es un fenómeno natural que experimentan ciertos núcleos atómicos inestables. Durante su proceso de transformación (desintegración) hacia un estado de menor energía, tales núcleos radian partículas con energía suficiente como para ionizar la materia, motivo por el que pueden resultar perjudiciales para la salud.

Resulta imposible saber cuánto tiempo tardará un núcleo en desintegrarse: se trata de un proceso aleatorio que puede tardar desde un nanosegundo hasta miles de millones de años en acontecer. Lo que sí podemos conocer es la probabilidad de que un núcleo se desintegre pasado cierto tiempo. Para cuantificarla, se emplea el *período de semidesintegración*. Esta cantidad expresa el tiempo que debe transcurrir para que, en una muestra de material compuesta por una gran cantidad de núcleos de la misma especie, se desintegren la mitad de ellos. Por ejemplo, transcurridos Cuatro períodos de semidesintegración, el número de núcleos radiactivos se habrá reducido en un factor dieciséis.

La *actividad radiactiva* de una muestra nos informa del ritmo al que se producen las desintegraciones, Se cuantifica en becquerelios (Bq). Un Bq equivale a una desintegración nuclear por segundo. Conocidos el período de semidesintegración de una especie y la cantidad de isótopos radiactivos en una muestra, resulta sencillo calcular su actividad. Por ejemplo, el período de semidesintegración del cesio-137 asciende a 30,2 años, por lo que una cantidad de  $3,13 \cdot 10^{-12}$  gramos de cesio-137 exhibirá una actividad de 10 Bq. Nótese que el período de

semidesintegración depende solo del tipo de núcleo considerado, mientras que la actividad depende también del tamaño de la muestra.

### **Impacto sobre el organismo**

Cuantificar el efecto sobre el ser humano de las radiaciones emitidas por una muestra, se emplea una magnitud denominada *dosis equivalente*, la cual expresa la energía absorbida por nuestro cuerpo cuando este se ve expuesto a radiaciones ionizantes. Las dosis equivalente se define como la energía absorbida por unidad de masa corporal, ponderada según el tipo de radiación, y se mide en sieverts (Sv). Un Sv equivale a un joule por kilogramo, si bien suelen emplearse más a menudo sus submúltiplos, como el milisievert (mSv).

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) es la encargada de fijar los niveles máximos de dosis recomendables para el público y para los profesionales expuestos a la radiación. Para el público en general, se fija un valor máximo de 1 mSv al año; para los trabajadores 50 mSv anuales, con un límite máximo de 100 mSv acumulados en 5 años.

¿Por qué se fijan esos valores, y no otros? Cuando la radiación ionizante interacciona con tejido biológico vivo, pueden producirse efectos deterministas y efectos aleatorios. Los primeros aparecen a dosis elevadas de radiación. Se observan efectos directos sobre la salud a partir de dosis superiores a 1 Sv. Si un grupo de personas recibe una dosis de 4 Sv, en ausencia de tratamiento médico se pueden producir, un 50 por ciento de muertes.

Por otro lado, los efectos estocásticos (cáncer y acortamiento no específico de la vida) carecen de umbral. Ello quiere decir que puede manifestarse tras dosis elevadas, pero también muy bajas. Por ejemplo, se calcula que, tras las explosiones nucleares de Hiroshima y Nagasaki, se produjo 1 muerte por cáncer por cada 13.400 personas que le recibieron 1 Sv de dosis equivalente. Así, el límite de 50 mSv/año para los profesionales del sector nuclear se fija al imponer que la mortalidad por las dosis recibidas en el trabajo no supere a la mortalidad media de un trabajador que realiza otras actividades laborales de riesgo. A efectos de comparación, se estima que fumar 20 cigarrillos al día acorta la vida en 6,6 años; un sobrepeso del 20 por ciento, en 2,7 años, y los accidentes de automóvil, en 207 días. Por su parte, la radiación natural acorta la vida en 8 días; las

exploraciones con rayos X, en 6 días, y una dosis de 1 mSv al año durante 20 años, en 9,9 días.

### **Radiactividad natural**

A lo largo de la vida, el ser humano se halla expuesto a numerosas fuentes de radiación ionizante. Las fuentes de origen natural se deben, por una parte, a la radiación cósmica (partículas que llegan desde el espacio), y por otra, a la emitida por la superficie terrestre. Al nivel del mar, la tasa media de origen cósmico asciende a unos 31 nanosievert (nSv) por hora. Durante un vuelo intercontinental entre Europa y Norteamérica, la tasa se calcula entre 4000 y 8000 nSv/h. Ello significa que, en un vuelo de 10 horas, la dosis equivalente acumulada vendría a ser de unos 0,04 mSv.

La interacción entre los rayos cósmicos y la atmósfera también genera isótopos radiactivos que pasan a formar parte del entorno. Por ejemplo, la concentración media de tritio (hidrógeno-3, con un período de semidesintegración de 12,3 años) asciende a unos 400 Bq por metro cúbico en el agua continental y a unos 100 Bq/m<sup>3</sup> en el agua de los océanos. Se estima que, por término medio, una persona recibe por ingestión de agua una dosis equivalente de unos 0,01 microsievert (μSv) al año. En cuanto al carbono-14, su concentración asciende a unos 230 Bq por kilogramo de carbono. Por tanto, una persona contiene en su cuerpo unos 2700 Bq de carbono-14, y recibe por ello una dosis media de unos 12 μSv al año.

La radiación natural de origen terrestre se debe a la desintegración de los radionucleidos primordiales presentes en la tierra y los minerales. Entre ellos se encuentran el potasio-40 (con un período de semidesintegración de 1248 millones de años) y los descendientes radiactivos del uranio-238 (4468 millones de años) y del torio-232 (14.050 millones de años). Otra fuente de radiación natural proviene del radón-222, un descendiente del uranio-238. Cuenta con un período de semidesintegración de 3,82 días. Se trata de un gas noble que el terreno exhala de manera continua y que se encuentra en la atmósfera en cantidades variables. Las concentraciones típicas a 1 metro del suelo oscilan entre los 3 y los 200 Bq/m<sup>3</sup>. Sus descendientes, como el plomo-214, el bismuto-214 o el polonio-210, entre otros, son a su vez radiactivos. Durante los episodios de lluvia, el agua arrastra dichos isótopos y los concentra en el suelo, tras lo que pueden registrarse incrementos en la tasa de dosis ambientales hasta un 50 por ciento.

## **Radiactividad de origen artificial**

Las fuentes de radiación ionizante de origen artificial pueden clasificarse en dos grandes grupos: las que modifican la distribución de los radionucleidos primordiales y las que generan nuevos radionucleidos. La redistribución de los radionucleidos primordiales tiene su origen en actividades como las explotaciones mineras de metales, la industria (de abonos fosfatados (rocas con concentraciones de uranio del orden de 1500 Bq/kg), la minería y combustión del carbón, o la extracción de petróleo y gas natural (las plataformas petrolíferas generan aguas residuales con concentraciones de radón-226 de hasta 2000 Bq/m<sup>3</sup>).

Al segundo grupo pertenecen los reactores y las armas nucleares de fisión. En el proceso de fisión nuclear se genera un gran número de isótopos radiactivos, cuyos períodos de semidesintegración varían entre las milésimas de segundo y los millones de años. Antes de llegar al reactor, el combustible nuclear contiene solo óxido de uranio, con una proporción isotópica de entre un 4 y un 5 por ciento de uranio-235, y el resto de uranio-238. Al final del ciclo de quemado del combustible, aproximadamente un 3 por ciento de la masa total se habrá transformado en más de 200 especies nucleares, entre productos de fisión, sus descendientes y elementos transuránidos.

### **Accidentes, yodo-131 y cesio-137 .**

En caso de accidente en un reactor nuclear, como el ocurrido en Fukushima, del total de isótopos presentes se acostumbra a valorar, en primera instancia, la concentración ambiental de solo dos ellos: el yodo-131 y el cesio-137. ¿A qué obedece que nos fijemos solo en estos. Radionucleidos.

Entre los más de 200 isótopos radiactivos que mencionábamos arriba, podemos descartar los elementos no volátiles, que no podrán escapar de la matriz de óxido de uranio debido a su escasa capacidad de difusión. Los elementos volátiles son siete (Cs, Rb, I, Xe, Kr, Te y Br). De ellos, los gases nobles presentan un escaso impacto ambiental, ya que su incapacidad para formar compuestos impide que puedan incorporarse a la cadena trófica. Si, además, descartamos aquellos isótopos con períodos de semidesintegración inferior a 1 día (pues desaparecen con rapidez), solo nos quedan seis especies (<sup>132</sup>Te, <sup>129</sup>I, <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>136</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs). De estos, los isótopos más abundantes instantes después de la parada del reactor son

el cesio-137 y el yodo-131, con períodos de semidesintegración de 30,2 años y 8,04 días, respectivamente.

El impacto biológico de ambos isótopos en el ser humano se debe a que la glándula tiroides emplea yodo, por lo que una acumulación de yodo radiactivo en dicha glándula puede provocar tumores. Por su parte, el cesio presenta una actividad similar a la del potasio, de forma que tiende a acumularse en la musculatura. El período biológico de permanencia del cesio-137 en el cuerpo humano se estima en unos 110 días, y el del yodo-131, entre 120 y 138 días. Ambos suelen ser absorbidos por ingestión y por inhalación.

Si tenemos en cuenta el período biológico de ambos isótopos, la radiación emitida y su actividad específica, se puede estimar el *factor de dosis* como consecuencia de su incorporación al organismo. Según la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA), el factor de dosis correspondiente a la incorporación de cesio-137 por inhalación asciende a 8,63 nSv/Bq; por ingestión, a unos 13,5 nSv/Bq. En el caso del yodo-131, el factor de dosis por inhalación es de 292 nSv/Bq y, por ingestión, de 476 nSv/Bq.

Estos valores permiten determinar los límites admisibles en la concentración de dichos radionucleidos en la alimentación en el aire. Según los datos del Consejo Nacional de Radiación de EE.UU., la concentración de cesio-137 en el aire no debe ría superar los 2200 Bq/m<sup>3</sup> para un trabajador (lo que equivaldría a una dosis de 50 mSv/año si se respirasen dichas concentraciones durante 40 horas a la semana). Por otra parte, si consideramos una oncentración en el aire de 1 Bq/m<sup>3</sup>, y si tenemos en cuenta que respiramos unos 2 litros de aire por minuto, deberíamos estar 4,4 años respirando dicha concentración para recibir la misma dosis que la que absorberíamos durante un viaje en avión de 10 horas.

Guillem Cortés Rossell

Dpto. de física e ingeniería nuclear

Universidad Politécnica de Cataluña.