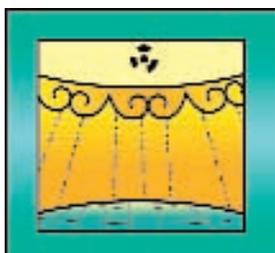


# Radiactividad natural y artificial en nuestro entorno



La radiactividad se encuentra en todos lados: en el espacio, en la Tierra, en nuestros cuerpos, en nuestros alimentos... Aprender a identificarla y controlarla ha traído grandes beneficios a la humanidad.

Beatriz Eugenia López Muñoz, José Luis Iturbe García

## QUÉ ES LA RADIATIVIDAD

La radiactividad es un fenómeno físico que se caracteriza por la desintegración, es decir, la reorganización de los núcleos atómicos inestables. Esta desintegración se acompaña de la emisión de radiación ionizante. En la naturaleza existen 92 diferentes elementos químicos, de los cuales algunos tienen más de un isótopo (átomos de un mismo elemento que presentan el mismo número de protones y de electrones, pero diferente número de neutrones). En estado natural existen 325 variedades de átomos. La mayoría son estables, pero también existen algunos inestables, que contienen un exceso ya sea de protones o de neutrones, y que son el origen de las transformaciones o desintegraciones radiactivas. Estas transformaciones se efectúan al emitirse radiación (en

forma de partícula, radiación electromagnética o una combinación de ambas); el átomo libera así una parte de materia y un exceso de energía. Y se transforma en otro tipo de átomo, que puede a su vez ser estable o inestable. En este último caso, el átomo continuará emitiendo radiación (figura 1) hasta alcanzar la estabilidad definitiva. En la naturaleza existen 51 variedades de átomos radiactivos.

## TIPOS DE RADIACIONES

Según el tipo de átomo en cuestión, la desintegración radiactiva se produce a través de la emisión de diferentes tipos de radiaciones (figura 2). Los principales son:

*Radiación alfa ( $\alpha$ ):* la partícula emitida corresponde a un núcleo del elemento químico de helio. La masa del nuevo núcleo disminuye en cuatro unidades, con relación al núcleo inicial. Así por ejemplo, cuando el átomo de uranio-238 emite una partícula alfa, se transforma en torio-234. La radiación alfa puede recorrer una distancia de apenas unos cuantos centímetros en el aire y puede ser detenida por una simple hoja de papel.

*Radiación beta ( $\beta$ ):* la partícula emitida es un electrón. La masa del núcleo atómico formado no cambia con la transformación de un neutrón en un protón. Un neutrino (partícula elemental de carga cero y de masa extremadamente pequeña) se lleva la energía complementaria liberada en la transformación. La radiación beta puede recorrer una distancia de unos cuantos metros en el aire, y puede ser detenida con una placa de vidrio o de madera.

*Radiación gamma ( $\gamma$ ):* es un tipo de radiación electromagnética que transporta el exceso de energía de un núcleo inestable. La radiación gamma acompaña a las transformaciones radiactivas alfa y beta, y tiene un fuerte poder penetrante. Puede recorrer cientos de metros en el aire y se requiere de espesores importantes de plomo o cemento para detenerla.

En el cuadro 1 se presentan las principales características de los tres diferentes tipos de radiaciones.

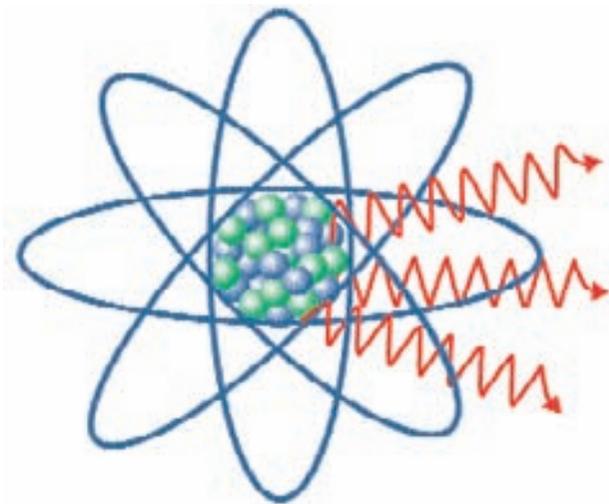
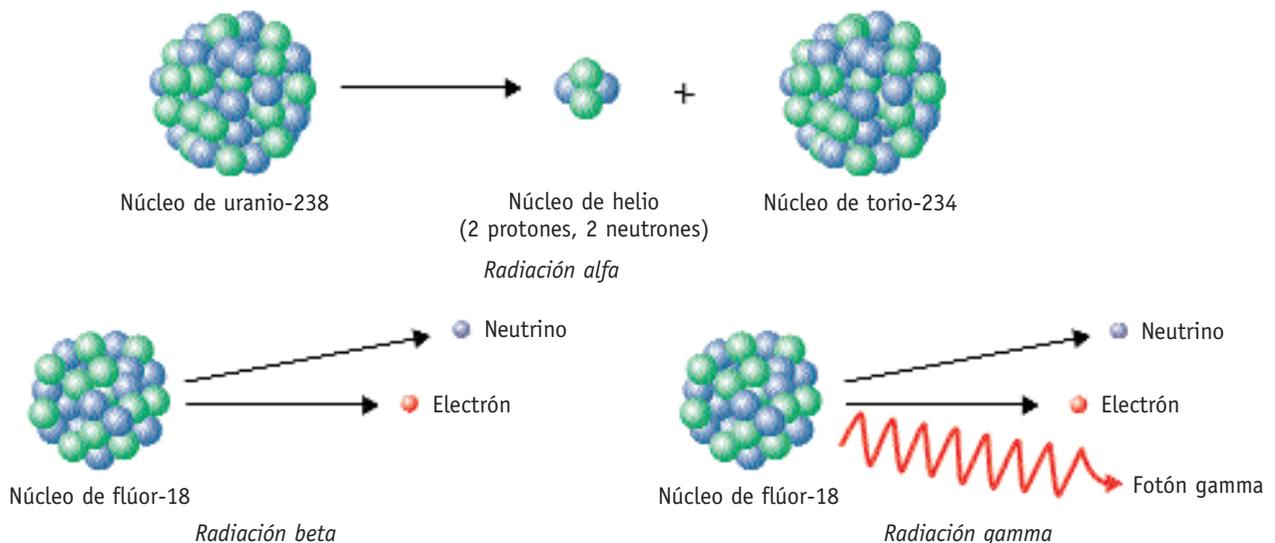


Figura 1. Átomo radiactivo.

**PERIODO RADIATIVO**

El periodo radiactivo o vida media de un elemento radiactivo es el tiempo necesario para que su radiactividad disminuya a la mitad. Este tiempo es característico de cada isótopo radiactivo. Su duración puede ser de una fracción de segundo hasta miles de millones de años. El periodo radiactivo (figura 3) da una idea de la rapidez de la desintegración de un elemento y del tiempo durante el cual es necesario tener en cuenta su radiactividad.

Figura 2. Representación de los tres diferentes tipos de radiaciones (alfa, beta y gamma).



### CUADRO 1.

Algunas características de las radiaciones alfa, beta y gamma

Nombre	Carga	Masa (en unidades de masa atómica)	Velocidad relativa a la luz	Penetración relativa	Ionización relativa	Descripción
Partícula $\alpha$	+2	4	5%	1	10,000	Ion
Partícula $\beta$	$\pm 1$	0.0055	95%	100	100	Electrones
Radiación $\gamma$	0	0	100%	10,000	1	Radiación electromagnética

Algunos ejemplos de periodos radiactivos son los siguientes: polonio-241 (0.164 segundos); oxígeno-15 (2 minutos); yodo-131 (8 días); uranio-238 (4 mil 500 millones de años).

#### LA RADIOACTIVIDAD EN NUESTRA VIDA COTIDIANA

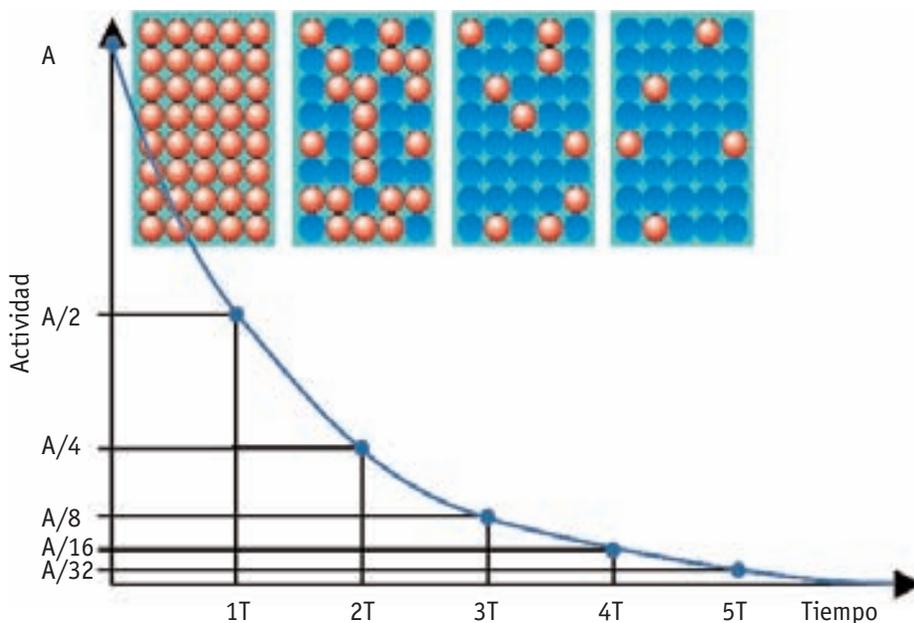
La radiactividad se encuentra presente por todas partes. Sin ella no existiríamos, por muchas razones. La reacción principal de donde el Sol obtiene energía es la reacción de fusión entre dos protones para transformarse en un núcleo de deuterio, elemento formado por un protón y un neutrón (figura 4).

Esta transformación se parece a una reacción radiactiva, puesto que emite un electrón positivo y un neutrino. Sin este proceso sería imposible generar neutrones para formar núcleos

más pesados, que son de suma importancia en la constitución de nuestro universo.

Gracias al calor de la Tierra, producido esencialmente por las desintegraciones radiactivas, ha sido posible que las condiciones ambientales se hayan mantenido desde la formación de nuestro planeta. La vida se desarrolló en un baño constante de radiaciones; se adaptó a ellas y se ha utilizado para diversificar y evolucionar en cada una de las especies vivas que existen actualmente. La radiactividad es omnipresente en nues-

**Figura 3.** Periodo radiactivo o vida media.



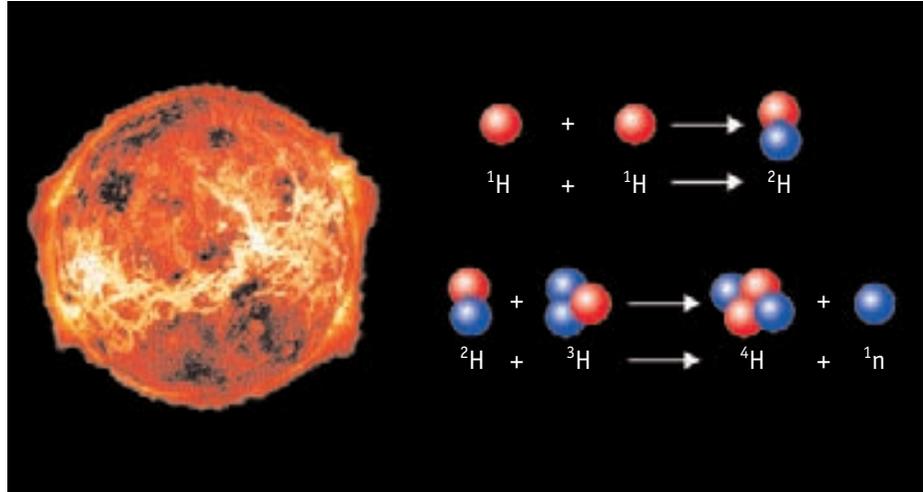
tra vida cotidiana. No sospechamos su presencia, pero la encontramos constantemente: nosotros mismos somos radiactivos, debido a la presencia de ciertos elementos radiactivos en nuestro cuerpo, por ejemplo el potasio. Además de estas exposiciones naturales, la radiactividad se utiliza ampliamente en nuestra vida cotidiana: estamos expuestos a ella, por ejemplo, cuando nos realizamos exámenes radiológicos.

Las exposiciones a la radiactividad tanto natural como artificial son bajas y cada día son más controladas.

Sobre nuestro planeta, la radiactividad juega un papel muy importante, puesto que el calor de la Tierra proviene de las desintegraciones radiactivas del centro de sus estructuras internas, del núcleo a la corteza.

A finales del siglo XIX, el físico británico lord Kelvin había calculado que la edad de la Tierra no podía sobrepasar 100 millones de años, debido al calor que escapaba del suelo, pero ignoraba la existencia de las desintegraciones de elementos radiactivos. El calor geotérmico es debido a un desprendimiento de calor mínimo, pero constante. Es mínimo porque es de tan sólo 0.0937 watts por tonelada para el uranio-238; se requerirían 100 toneladas de uranio para alimentar una lámpara de 100 watts. Y es casi constante, puesto que el desprendimiento ha disminuido sólo a la mitad desde la formación de la Tierra. A pesar del contenido bajo de uranio y torio de nuestro planeta, las cantidades netas son enormes, dada su escala. Se estima que las cantidades respectivas de estos elementos en la corteza y el manto terrestre son de 50 a 160 mil millones de toneladas. Según esta estimación, tan sólo el uranio produciría más de 4 mil 620 millones de watts: la energía producida por 4 mil 620 centrales nucleares actuales.

De todo este calor, sólo una pequeña proporción se escapa, debido a las dimensiones de la Tierra. La radiactividad de los isótopos uranio-235 y uranio-238, del torio-232 y del potasio-40 originan 80 por ciento de la energía que proviene de la superficie del suelo. Esta energía ha disminuido mucho después del periodo primitivo, puesto que los elementos radiactivos de vida media corta han desaparecido desde hace mucho tiempo.



**Figura 4.** Reacciones nucleares de fusión llevadas a cabo en el Sol.

El calor de la Tierra proviene de las desintegraciones radiactivas del centro de sus estructuras internas, del núcleo a la corteza

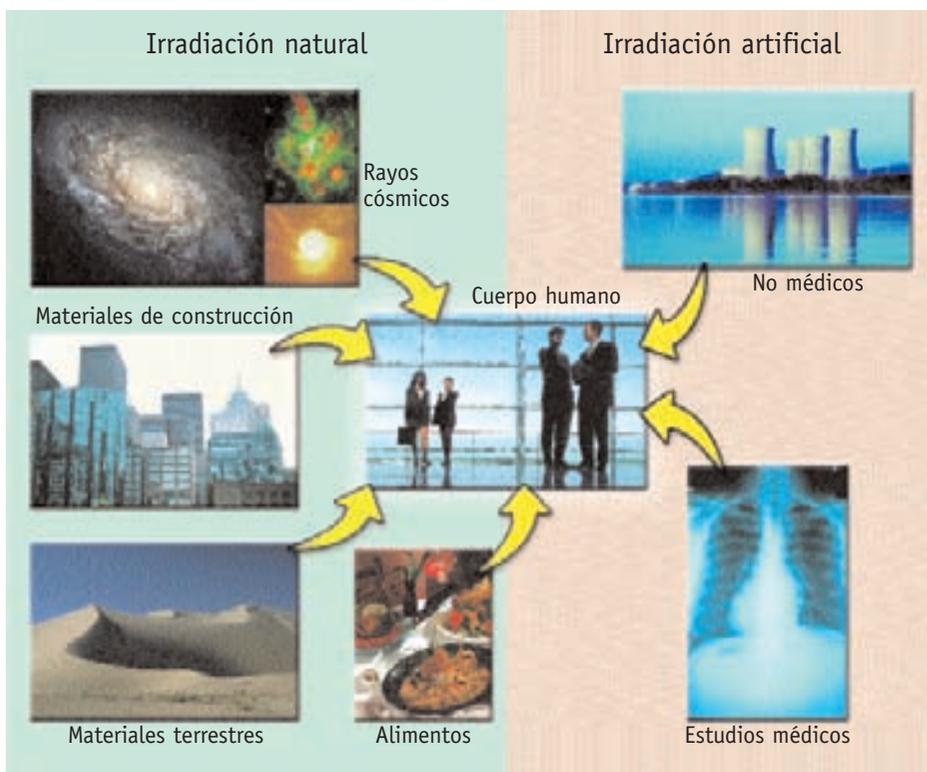


En nuestra alimentación asimilamos potasio-40, carbono-14 y tritio. Estamos sujetos a la exposición de partículas de la radiación cósmica, de las cuales centenas nos atraviesan cada segundo. Miles de millones de neutrinos nos bombardean también cada instante. La radiación, en los niveles a los que estamos expuestos (figura 5), no es dañina, sino que resulta indispensable para la vida. Las personas que viven en las cercanías de una central nuclear, por ejemplo, y contrariamente a la creencia general, reciben tres veces menos radiaciones por año que los que realizan un viaje en avión trasatlántico.

Los seres vivos han estado expuestos desde siempre a la radiactividad natural. Pero los humanos no lo descubrimos sino hasta finales del siglo XIX. Fue a partir de 1896 que la humanidad tomó conciencia de la existencia de las radiaciones y comenzó a comprender sus diversos orígenes. La radiactividad natural proviene principalmente de los radioelementos producidos en las estrellas, hace miles de millones de años. Se encuentran trazas de estos elementos radiactivos y de sus descendientes en nuestro ambiente.

La Tierra es bombardeada constantemente por rayos cósmicos que son partículas de muy alta energía y provienen del espacio galáctico, producidas en las explosiones de las supernovas, el

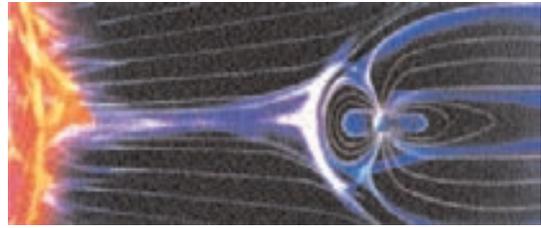
**Figura 5.** Diferentes tipos de irradiaciones que reciben los seres humanos.



Sol y las estrellas. Estas partículas primarias pueden estar eléctricamente cargadas (protones, partículas alfa, núcleos pesados o electrones) o ser neutras (fotones gamma, neutrinos).

El campo magnético de las estrellas, que no es homogéneo, juega el papel de acelerador y llega a proporcionar a ciertas partículas cósmicas cargadas, energías superiores a los miles de millones de electronvolts (unidad de energía usada para escalas muy pequeñas, equivalente a  $1.602 \times 10^{-19}$  joules). La energía de los rayos cósmicos varía en un rango muy grande y puede alcanzar hasta 100 trillones de

electronvolts. Sus velocidades están comprendidas entre mil y 300 mil kilómetros por segundo. Cuando estas partículas se aproximan a la Tierra, son desviadas por el campo magnético terrestre, que sirve así de escudo contra las radiaciones (figura 6). Cerca de los polos esta protección es menos eficiente: los rayos cósmicos de alta energía que penetran a la atmósfera son los causantes de las auroras boreales. Cuando penetran en las capas superiores de la atmósfera, los rayos cósmicos entran en colisión con los núcleos de los átomos que forman el aire, y por medio de estas interacciones se producen núcleos radiactivos o partículas secundarias, como el carbono-14.



**Figura 6.** Radiación cósmica proveniente del Sol y desviada en su mayoría por el campo electromagnético de la Tierra.

### DOSIS ABSORBIDA

La palabra dosis viene del griego, y significa “dar”; en terapia, es sinónimo de la cantidad de un medicamento dado a un enfermo, y en radiobiología tiene el mismo significado: es la cantidad de energía transmitida por la radiación a un individuo y absorbida por él. Esta energía produce modificaciones en los tejidos y llega a ocasionar lesiones. La gravedad de una irradiación accidental depende esencialmente de la cantidad, por llamarla de alguna forma, de dosis absorbida, cualquiera que sea el tipo de radiación. La unidad llamada sievert (Sv) expresa el efecto biológico de la radiación sobre el individuo expuesto. A dosis absorbidas iguales, los efectos no necesariamente son los mismos; dependen del tipo de radiación recibida (alfa, beta, gamma, neutrones...). La unidad más significativa para la salud es la dosis biológica expresada en milisieverts.

Los efectos de la exposición a la radiactividad natural son mínimos; como testimonio se encuentra el desarrollo de las especies vivas. La atmósfera ofrece un escudo permanente contra las radiaciones. Al encontrarse a mayor altitud, disminuye el espesor de las capas protectoras. Los habitantes de los Andes y los tibetanos del Himalaya, que viven después de miles de años en estas regiones a 3 ó 4 mil metros sobre el nivel del mar, están expuestos a un nivel mayor de radiación, así como los pasajeros de vuelos en avión, que se encuentran más alto pero sólo durante unas cuantas horas. El pasajero de un vuelo de Londres a Nueva York a 10 mil metros de altitud recibirá una dosis de 0.032 milisieverts, el equivalente de una radiografía dental panorámica. Otro pasajero que viaje por el polo norte de Nueva York a Hong Kong recibirá una dosis tres veces mayor debido a que la protección de la atmósfera y del campo magnético terrestre es dos veces menos efectiva en latitudes polares que en el Ecuador.

El pasajero de un vuelo de Londres a Nueva York a 10 mil metros de altitud recibirá una dosis de 0.032 milisieverts, el equivalente de una radiografía dental panorámica

La radiactividad a la que estamos expuestos en nuestro medio es una combinación de la radiactividad natural (proveniente del cosmos, de la corteza terrestre o de nuestro cuerpo) y una exposición que resulta de las actividades humanas

La radiactividad a la que estamos expuestos en nuestro medio es una combinación de la radiactividad natural (proveniente del cosmos, de la corteza terrestre o de nuestro cuerpo) y una exposición que resulta de las actividades humanas. Esta última es debida esencialmente a tratamientos médicos. Se estima que la dosis media anual de exposición por persona es de 3.5 milisieverts desde principios del presente siglo. En el cuadro 2 se indican algunos valores de dosis absorbidas por los seres humanos, así como los materiales de donde proviene la radiación y los isótopos radiactivos que los producen.

En ciertas regiones del mundo la exposición alcanza 10 o 50 milisieverts por año. El hecho de que los organismos vivos se hayan habituado, desarrollado y adaptado sin ningún problema, después de millones de años en regiones expuestas a la radiación, sugiere que las dosis de radiactividad de algunos milisieverts son poco dañinas. La principal fuente de radiactividad natural en la capa terrestre es debida a la presencia de tres tipos de núcleos radiactivos: torio-232, uranio-235 y uranio 238. Debido a que tienen largos tiempos de vida media (la del uranio-235 es de 710 millones de años; la del uranio-238, de 4 mil 500 millones de años, y la del torio-232, de 14 mil millones de años), aún se encuentran presentes y son parte integral de nuestro entorno natural. Estos tres núcleos radiactivos estaban presentes en las nubes de polvo interestelar cuya agregación da lugar a la formación de estrellas y planetas, como el Sol y la Tierra, hace 4 mil 500 millones de años. El torio-232, el uranio-235 y el uranio-238 son los principales constituyentes de tres familias radiactivas, y generan descendientes radiac-

## CUADRO 2.

Dosis de radiaciones absorbidas por una persona y fuentes que las producen.

Tipo de radiación	Dosis (mSv)	Fuentes radiactivas
Radiación terrestre	(0.54)	Isótopos de uranio y torio
Emanaciones de radón	(1.2)	Materiales de construcción
Radiación cósmica	(0.36)	Protones, partículas alfa
Radiación del cuerpo humano	(0.30)	Potasio-40, carbono-14, tritio
Exámenes y tratamientos médicos	(1.1)	Radiografías médicas y dentales
Actividades industriales no nucleares	(0.01)	Combustión del carbón, fertilizantes fosfatados, televisión, relojes con pantalla luminosa
Actividades industriales nucleares	(0.02)	Centrales nucleares, ensayos nucleares atmosféricos

tivos de vidas medias más cortas. Por ejemplo, en las rocas de granito se encuentran, al lado del uranio, trazas de radio. Este elemento radiactivo tiene una vida media de mil 600 años, así que habría desaparecido desde hace muchísimo tiempo si no se estuviese generando constantemente, a partir de la familia radiactiva del uranio-238.

La radiación tectónica, debida a la presencia del uranio y sus descendientes (isótopos radiactivos originados de un elemento también radiactivo) que se encuentran en las rocas, produce radón y sus descendientes radiactivos. El radón (un elemento gaseoso radiactivo) constituye la fuente natural principal de exposición a la radiactividad: un milisievert en promedio por año en Francia (es decir, el equivalente a exámenes médicos con rayos X). El radón se difunde desde las rocas volcánicas y graníticas, así como desde algunos materiales de construcción, y se dispersa en la atmósfera. No se fija en el organismo, pero sus descendientes sí lo hacen. Proviene de la desintegración del radio-226. La exposición al radón varía de un lugar a otro. La reglamentación actual prevé la protección contra el radón, que consiste esencialmente en mantener una buena ventilación en los hogares.

Un núcleo de uranio-238 se desintegra por emisión de una partícula alfa en otro núcleo hijo, el torio-234. Después, el torio se transforma rápidamente en protactinio-234; enseguida en uranio-234 por emisión de una partícula beta negativa. El uranio-234 tiene una vida media de 245 mil años, y se transforma lentamente en torio-230, también radiactivo. Esta cascada de eventos continúa hasta que se produce un núcleo estable: en este caso, el plomo-206. Las otras dos familias radiactivas, la del uranio-235 y del torio-232 terminan de igual forma en dos isótopos estables: plomo-207 y plomo-208, y producen también isótopos radiactivos. Los tiempos de vida son extremadamente variables: van desde algunos segundos hasta miles de millones de años. Como ejemplo, en el cuadro 3 se indican todos los radioisótopos que se producen a partir de una sola serie o familia radiactiva de uranio-238. Se representan

### CUADRO 3.

Isótopos radiactivos que produce el uranio-238, sus vidas medias y tipos de radiaciones que producen.

Radionúclidos formados a partir de <sup>238</sup> U	Vida media	Unidad	Partícula emitida
Uranio-238	4 500 000 000	años	α
Torio-234	24.1	días	β <sup>-</sup>
Protactinio-234	6.7	horas	β <sup>-</sup>
Uranio-234	250 000	años	α
Torio-230	75 000	años	α
Radio-226	1 600	años	α
Radón-222	3.8	días	α
Polonio-218	3.1	minutos	α
Plomo-214	26.8	minutos	β <sup>-</sup>
Bismuto-214	19.9	minutos	β <sup>-</sup>
Polonio-214	164.3	microsegundos	α
Plomo-210	22.3	años	β <sup>-</sup>
Bismuto-210	5.0	días	β <sup>-</sup>
Polonio-210	138.4	días	α
Plomo-206	Estable		

la vida media, la unidad respectiva y modo de decaimiento.

## LA RADIATIVIDAD Y EL ORGANISMO HUMANO

El organismo humano, que es débilmente radiactivo, puede integrar sin peligro ciertas dosis de radiactividad suplementarias. Pero dosis excesivas pueden ocasionar daños más o menos graves a la salud, en función de varios factores como la cantidad de dosis absorbida, el tiempo de duración de la irradiación, el tipo de radiación recibida, el área expuesta y la naturaleza de los órganos irradiados.

### DEFINICIÓN DE IRRADIACIÓN

La acción de un material radiactivo sobre la materia viva o inerte se realiza siempre por medio de radiaciones emitidas por este material. La acción depende del tipo de radiación

(de su energía y tiempo de exposición). Se distinguen dos tipos de irradiación, dependiendo de si la sustancia radiactiva se halla fuera o dentro del cuerpo.

*Irradiación externa:* Las radiaciones chocan con la materia expuesta. Se puede evitar alejándose de la fuente o interponiendo barreras protectoras. En caso de contaminación externa, es decir, si la sustancia se deposita sobre la superficie, se puede quitar la ropa contaminada y lavar la superficie. La irradiación acumulada está en función del tiempo de contaminación y de otros factores.

*Irradiación interna:* se presenta cuando la materia radiactiva se ha ingerido o inhalado. Su acción es por tanto más importante que en el caso de contaminación externa, puesto que el organismo recibe las radiaciones en todas direcciones. La irradiación total que sufrirá la materia viva está en función de la cantidad del elemento ingerido, la naturaleza de la radiación, el periodo radiactivo físico y del periodo biológico (tiempo al cabo del cual el organismo elimina la mitad de la cantidad ingerida).

El mecanismo es complejo, pero en general la sustancia radiactiva, que continúa desintegrándose, afecta o mata a las células. El mecanismo de reparación celular no se conoce bien; sin embargo, se estima que en 50 por ciento de casos una célula afectada se restablece mal, por lo que podría presentar un peligro.

Es difícil cifrar el efecto de dosis bajas de radiación. Las estimaciones utilizan una extrapolación lineal sin umbral, basándose en los datos de dosis elevadas.

### EFFECTOS DE LAS RADIACIONES SOBRE LA SALUD DE LOS INDIVIDUOS

En el cuadro 4 se presenta la dosis absorbida en un solo evento y en un tiempo muy corto en el cuerpo entero de una persona.

### CONSECUENCIAS DE LA ABSORCIÓN DE UNA DOSIS RADIATIVA A NIVEL DE LOS ÓRGANOS

Se ha observado que ciertos alimentos pueden contener radiactividad, particularmente los champiñones. Cuando una persona ingiere un alimento contaminado, el producto radiactivo se incorpora en el organismo. Pero estos elementos no se fijan sistemáticamente en los órganos. El alimento contaminado es digerido primeramente en el estómago, y después va al intestino. En el intestino se transfiere una parte hacia la sangre, que lo

Se ha observado que ciertos alimentos pueden contener radiactividad, particularmente los champiñones

transmite hacia los órganos. No todos los radioelementos atraviesan la pared intestinal. En el caso del yodo y el cesio, se estima que 100 por ciento de la actividad pasa la barrera del intestino. Para el uranio, sólo el 2 por ciento la atraviesa. (La transferencia hacia la sangre de estos elementos que pasan muy poco es mayor entre los recién nacidos.) Una vez en la sangre, los elementos radiactivos se reparten en todo el organismo o en órganos específicos, según su naturaleza.

**DAÑOS AL NIVEL DE LA CÉLULA Y EL ADN**

En una célula viva, todas las moléculas pueden ser afectadas pero sobre todo dos de ellas: el agua y el ácido desoxirribonucleico (ADN). La radiólisis (descomposición por radiación) del agua provoca lesiones entre las moléculas vecinas. El ADN puede ser afectado directamente o por intermediario de la radiólisis del agua. Esto puede ocasionar dos fenómenos: la mutación o la muerte de la célula.

En caso de mutación, las células conservan su poder de división, pero transmiten las anomalías genéticas. Por ejemplo, las mutaciones pueden provocar cáncer o defectos hereditarios. Estos efectos son aleatorios.

Pero a partir de una dosis muy elevada, las degradaciones moleculares pueden provocar la muerte celular. Cuando la dosis es más débil, la mortalidad es diferida. Ciertas células mueren desde la primera división.

Cuando un número suficiente de células se destruye, se habla de efectos tisulares (a nivel de tejidos). Los tejidos más



En caso de mutación,  
las células conservan  
su poder de división,  
pero transmiten  
las anomalías genéticas

**CUADRO 4.**

Dosis absorbida por una persona  
y los efectos producidos en su salud.  
(En los usos médicos: de mil a 100 mil milisieverts  
y más sobre zonas muy localizadas para destruir  
los tumores cancerígenos).

Dosis absorbida (milisieverts)	Efecto sobre la salud
600 a 800	Fiebre, náuseas pasajeras
1000 a 2000	Trastornos graves, tratamiento médico (modificación sanguínea, alteración de médula ósea)
4000	50% de posibilidades de sobrevivir
6000 a 8000	Riesgo fatal

Cada isótopo radiactivo actúa según su vida media física, periodo biológico, propiedades químicas y la naturaleza de las partículas emitidas

radiosensibles son los tejidos hematopoyéticos (formadores de células sanguíneas), las gónadas y los pulmones. Los menos radiosensibles son los tejidos nerviosos y musculares.

## ACCIÓN DE LOS ISÓTOPOS RADIATIVOS

Cada isótopo radiactivo actúa según su vida media física, periodo biológico, propiedades químicas y la naturaleza de las partículas emitidas.

El estroncio-90 (vida media 28 años) tiene propiedades parecidas a las del calcio. Se fija en los huesos y se elimina en 15 años (periodo biológico), mientras que el cesio-137 (vida media 30 años) es análogo al potasio, se fija de preferencia en los músculos y se elimina entre 50 y 150 días, lo que hace a estos dos isótopos muy peligrosos para niños. El tritio (vida media 12.3 años) se puede alojar en todo el cuerpo y se elimina en 12 días, lo mismo que el cobalto-60 (vida media 5.2 años), que puede estar presente en todo el cuerpo y se elimina en 9.5 días.

## Bibliografía

- Boletín OIEA, Revista del Organismo Internacional de Energía Atómica (1990), *Isótopos*, Viena, Austria, 32, 4.
- Boletín OIEA, Revista del Organismo Internacional de Energía Atómica (1988), *Protección Radiológica*, Viena, Austria, 30, 3.
- Cocher D.C. (1981), *Radioactive decay data tables*, USA, J.S. Smith, editor/coordinador.
- Gerhart Friedlander, Joseph W. Kennedy y Julian Malcolm Miller, (1964), *Nuclear and radiochemistry*, Tokio, Wiley, 2a edición.
- Iturbe García J. L. (2001), *Fundamentos de radioquímica*, México, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Lederer C. M., J. M. Hollander e I. Perlman (1968), *Tables of isotopes*, Nueva York, Wiley.
- [www.perso.wanadoo.fr](http://www.perso.wanadoo.fr)
- [www.cidehom.com/article.php3?a\\_id=149](http://www.cidehom.com/article.php3?a_id=149)
- [www.infoscience.fr](http://www.infoscience.fr)

---

**Beatriz Eugenia López Muñoz** estudió su doctorado en la Universidad Louis Pasteur de Estrasburgo, Francia. Ha desarrollado investigaciones sobre química nuclear, radioquímica, petróleo y algunos de sus derivados, química del uranio y algunos productos de fisión en solución, contaminación ambiental y materiales para la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Actualmente es investigadora del Departamento de Química del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Ha producido diversas contribuciones en revistas especializadas nacionales e internacionales. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores desde 1990.

[belm@nuclear.inin.mx](mailto:belm@nuclear.inin.mx)

**José Luis Iturbe García** es doctor en Química con especialidad en química analítica y control del medio ambiente. Actualmente es investigador en el Departamento de Química del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Sus áreas de interés son radioquímica y medio ambiente, química del uranio e isótopos radiactivos, y almacenamiento de hidrógeno en forma de hidruros metálicos. Es autor de un libro sobre radioquímica y miembro del Sistema Nacional de Investigadores y de la Academia Mexicana de Ciencias.

[jlg@nuclear.inin.mx](mailto:jlg@nuclear.inin.mx)