

Concepto, definición e historia

A principios del año 1896, Henri Antoine Becquerel, premio Nobel de Física en 1903, descubrió que un compuesto de uranio emitía espontáneamente radiaciones ionizantes. Dos años más tarde el matrimonio Pierre y Marie Curie, encontraron que otra sustancia llamada Torio emitía el mismo tipo de radiación que el compuesto de uranio. Las investigaciones de estos dos científicos condujeron al descubrimiento de un nuevo elemento llamado Radio.

Llamamos radiación a la energía que se propaga en forma de onda a través del espacio. El ser humano ha estado expuesto a las radiaciones ionizantes desde el comienzo de los tiempos. Las fuentes naturales de radiación se encuentran tanto en el universo como en la tierra. El espacio exterior y el sol son el origen de la radiación cósmica, constituida por partículas con un alto índice energético, 86% protones y 12% de partículas alfa.

Dentro del concepto de radiación se incluye tanto la luz visible como las ondas de radio y televisión lo que se conoce como -radiaciones no ionizantes- y desde la luz ultravioleta a los rayos X o la energía fotónica -radiaciones ionizantes-.

Radiación natural y Artificial

Radiación natural

El proceso de desintegración radiactiva explica la existencia de muchos elementos radiactivos en el medio ambiente. De hecho, hasta la invención del tubo de rayos X, en 1895, la única radiación que existía era la natural.

El ser humano vive en un mundo con radiactividad natural: recibe la radiación cósmica, procedente del espacio y la radiación del radón, procedente de la tierra; ingiere a diario productos naturales y artificiales que contienen sustancias radiactivas (en cantidades muy pequeñas), en sus huesos hay polonio y radio radiactivos, en sus músculos, carbono y potasio radiactivos, y en sus pulmones, gases nobles y tritio, también radiactivos.

Este conjunto de radiaciones naturales integra la radiación de fondo que depende de numerosos factores: el lugar donde se vive, la composición del suelo, los materiales de construcción, la estación del año, la latitud y, en cierta medida, las condiciones meteorológicas.

De la radiación cósmica, que procede del espacio, sólo llega al suelo una fracción, ya que en su mayor parte, es detenida por la atmósfera. En consecuencia, la latitud es determinante de la dosis recibida, de forma tal que en la cima de una montaña o viajando en un avión se recibe mayor cantidad de radiación cósmica que al nivel del

mar: por ejemplo, las tripulaciones aéreas pasan gran parte de su vida en altitudes en las que la radiación cósmica es 20 veces mayor que la radiación media de fondo.

La radiación de fondo debida al gas radón, procedente de la desintegración del metal radio contenido en algunas rocas, fundamentalmente graníticas, también varía sustancialmente dependiendo de la localización. El radón surge por emanación de las rocas lo que posibilita, por ejemplo, que se formen grandes concentraciones en el interior de las viviendas construidas en determinados sitios o con ciertos materiales, sobre todo si la ventilación es insuficiente. En estos casos, la concentración de radón puede ser cientos de veces superior a la del exterior.

Radiación artificial

En 1895, el físico Roëntgen, cuando experimentaba con rayos catódicos, descubrió el primer tipo de radiación artificial que ha utilizado el ser humano: los rayos X. Se trata de ondas electromagnéticas originadas por el choque de electrones con un determinado material, en el interior de un tubo de vacío.

Una año después, en 1896, el científico francés Becquerel descubre por casualidad la radiactividad natural al quedar impresionadas las placas fotográficas que habían estado guardadas, protegidas de la luz, en un cajón en el que había mineral de uranio. Becquerel supuso, con acierto, que el compuesto de uranio había emitido una radiación capaz de velar las películas fotográficas.

Pocos años después, la joven Marie Curie y su esposo Pierre descubrieron que a medida que el uranio emitía radiaciones se iba transformando en otros elementos químicos distintos, como el radio y el polonio, así denominado en honor a su país de origen.

Una vez que empezaron a conocerse las propiedades y la potencialidad de la radiación se fueron desarrollando sus aplicaciones, así como las técnicas para obtener materiales radiactivos artificiales.

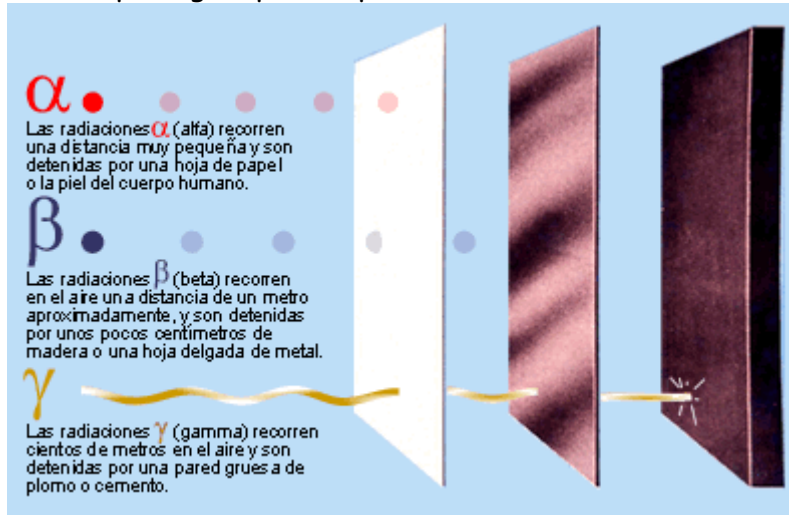
Tipos de radiación

Las radiaciones ionizantes pueden tener naturaleza corpuscular (chorro de partículas) o electromagnética (ondulatoria), lo que supone una notable diversidad de propiedades (velocidad de propagación, masa, etc.), que les confiere muy distintas posibilidades de aplicación, así como diferente peligrosidad potencial. Las radiaciones más utilizadas son las siguientes:

La **radiación alfa** son partículas pesadas integradas por dos protones y dos neutrones (como el núcleo del helio) emitidas por la desintegración de átomos de elementos pesados (uranio, radio, radón, plutonio...). Debido a su masa no puede recorrer más que un par de centímetros en el aire, y no puede atravesar una hoja

de papel, ni la epidermis.

Por el contrario, si se introduce en el cuerpo una sustancia emisora de radiación alfa, por ejemplo en los pulmones, ésta libera toda su energía hacia las células circundantes, proporcionando una dosis interna al tejido sensible (que en este caso no está protegido por la epidermis).



La **radiación beta** está compuesta por partículas de masa similar a las de los electrones, lo que le confiere un mayor poder de penetración. No obstante, la radiación beta se detiene en algunos metros de aire o unos centímetros de agua, y es detenida por una lámina de aluminio, el cristal de una ventana, una prenda de ropa o el tejido subcutáneo.

No obstante, puede dañar la piel desnuda y si entraran en el cuerpo partículas emisoras de beta, irradiarían los tejidos internos.

La **radiación gamma** es de carácter electromagnético, muy energética, y con un poder de penetración considerable. En el aire llega muy lejos, y para detenerla se hace preciso utilizar barreras de materiales densos, como el plomo o el hormigón.

Desde el momento en el que la radiación gamma entra en una sustancia, su intensidad empieza a disminuir debido a que en su camino va chocando con distintos átomos. En el caso de los seres vivos, de esa interacción con las células pueden derivarse daños en la piel o en los tejidos internos.

La **radiación X** es parecida a la gamma, pero se produce artificialmente en un tubo de vacío a partir de un material que no tiene radiactividad propia, por lo que su activación y desactivación tiene un control fácil e inmediato.

La **radiación de neutrones** es la generada durante la reacción nuclear. Los neutrones tienen mayor capacidad de penetración que los rayos gamma, y sólo puede detenerlos una gruesa barrera de hormigón, agua o parafina. Por ello, en las

aplicaciones civiles, la generación de la radiación de neutrones se limita al interior de los reactores nucleares.

Estos tres últimos tipos de radiación: gamma, rayos X y neutrónica, no son directamente ionizantes, pero al incidir sobre otros núcleos pueden activarlos o causar las emisiones que, indirectamente, sí producen ionización.

Efectos biológicos

Poco después de que se inventara el tubo de rayos X, es decir, desde las primeras experiencias con las radiaciones, las personas que trabajaban en ellas observaron lesiones en la piel de las manos. Varios científicos se irradiaron la piel a propósito para obtener más datos, y averiguaron que una fuerte exposición podía causar enrojecimiento o quemaduras varias semanas después del contacto. Se constató que una exposición muy fuerte podía incluso provocar heridas abiertas (úlceras en la piel) y caída temporal de cabello. Asimismo vieron que un tejido expuesto y curado inicialmente podía desarrollar cáncer años después.

Desde entonces, el conocimiento de los efectos biológicos de la radiación se ha desarrollado en paralelo al de sus aplicaciones, tratando de encontrar el justo equilibrio entre ventajas e inconvenientes.

Muchas incógnitas iniciales están resueltas, pero otras siguen investigándose ya que la interacción con la materia viva se rige por mecanismos complejos en los que intervienen otros muchos factores.

Se ha establecido que, por lo que respecta a la salud humana, los tipos más importantes de radiaciones son las ionizantes. Si una radiación ionizante penetra en un tejido vivo, los iones producidos pueden afectar a los procesos biológicos normales. Por consiguiente, el contacto con cualquiera de los tipos habituales de radiación ionizante (alfa, beta, gamma, rayos X y neutrones) puede tener repercusiones sobre la salud. Se sabe, también, que los efectos de cada tipo de radiación ionizante son distintos. Por ejemplo, un rayo gamma sólo provoca lesiones en puntos concretos, de forma que el tejido puede soportarlo razonablemente bien e incluso puede reparar las lesiones causadas. Por el contrario, una partícula alfa, pesada y relativamente grande, provoca grandes daños en un área pequeña y es más perjudicial para el tejido vivo.

La relación entre radiación y cáncer sigue siendo un asunto muy debatido. La investigación sobre los mecanismos que pueden explicar una relación causa-efecto entre una y otro, ha establecido la necesidad de considerar, por un lado, la cantidad y la calidad de la dosis recibida, y por otro lado, el tipo de tejido afectado junto a su capacidad de recuperación.

Es evidente que las dosis elevadas, tal vez superiores a los 3.000 mSv, pueden considerarse como inductoras inevitables de un proceso cancerígeno, ya que estadísticamente se darían todas las circunstancias consideradas como necesarias en la relación causa-efecto. No obstante, este nivel elevado de dosis de radiación queda reservado para aquellas personas afectadas físicamente por un accidente grave en una instalación nuclear o en una guerra.

En el extremo opuesto se encuentran las llamadas bajas dosis, que sí pueden ser recibidas de forma habitual por determinados colectivos de personas. El debate sobre sus efectos dista mucho de estar resuelto, ya que la investigación no ha podido establecer los mecanismos, ni los límites de dosis a partir de los cuales se desencadenan, dado el elevado número de factores que intervienen en el desarrollo de un proceso cancerígeno.

Una de las realidades consideradas en este debate es que la frecuencia del cáncer no es más elevada en áreas donde la radiación de fondo es muy superior a la media. En esta línea, algunos investigadores apoyan la teoría de la hómesis para explicar, incluso, que en las poblaciones que viven en regiones de montaña, a grandes alturas y con niveles de radiación elevados, se dan menos casos de cáncer, al generar una especie de autodefensa, como en la homeopatía. Esto puede ser estadísticamente correcto, pero la conclusión no es necesariamente acertada, ya que, como se ha indicado, el cáncer tiene muchas causas.

Prevención

La protección contra las radiaciones ionizantes incluye una serie de medidas de tipo general que afectan a cualquier instalación radiactiva y a una serie de medidas específicas de acuerdo con el tipo de radiación presente en cada caso. Sin embargo, en el trabajo con radiaciones ionizantes deben considerarse unos principios básicos, tales como que el número de personas expuestas a radiaciones ionizantes debe ser el menor posible y que la actividad que implique dicha exposición debe estar plenamente justificada de acuerdo con las ventajas que proporciona. Asimismo, todas las exposiciones se mantendrán al nivel más bajo que sea razonablemente posible, sin sobrepasarse en ningún caso los límites anuales de dosis legalmente establecidos.

Normas específicas de protección contra radiaciones ionizantes

Irradiación externa

Limitación del tiempo de exposición. La dosis recibida es directamente proporcional al tiempo de exposición, por lo que, disminuyendo el tiempo, disminuirá la dosis. Una buena planificación y un conocimiento adecuado de las operaciones a realizar permitirá una reducción del tiempo de exposición.

Utilización de pantallas o blindajes de protección. Para ciertas fuentes radiactivas la utilización de pantallas de protección permite una reducción notable de la dosis recibida por el operador. Existen dos tipos de pantallas o blindajes, las denominadas barreras primarias (atenúan la radiación del haz primario) y las barreras secundarias (evitan la radiación difusa).

Distancia a la fuente radiactiva. La dosis recibida es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente radiactiva. En consecuencia, si se aumenta el doble la distancia, la dosis recibida disminuirá la cuarta parte. Es recomendable la utilización de dispositivos o mandos a distancia en aquellos casos en que sea posible.

Barreras de protección

Existen medios físicos para asegurar un tiempo mínimo de exposición como son, por ejemplo, que las barreras de protección estén colocadas para mantener alejadas de las zonas peligrosas a las personas, o que los materiales de blindaje estén en sus lugares antes de la exposición de la fuente.

Recintos blindados

Por recinto blindado entendemos todo espacio cerrado construido que contiene radiación ionizante y que proporciona suficiente blindaje a todas aquellas personas que se encuentran en zonas contiguas. Su tamaño varía y puede abarcar desde pequeños gabinetes que contengan aparatos de rayos X para examinar paquetes postales, instalaciones radiográficas con paredes o grandes salas para aplicar dosis muy altas en el tratamiento por irradiación, esterilización etc.

Todos los recintos tienen principios de diseño semejantes, aunque sus características varían según su utilización para radiaciones con rayos X, con rayos gamma o con neutrones.

Control de acceso a los recintos blindados

La instalación debe tener una zona controlada a la cual deba restringirse el acceso en todo momento. Hay que garantizar que nadie quede inadvertidamente en su interior cuando vaya a originarse la exposición a un haz primario, al igual que debe impedirse en el caso de un haz útil. Los dispositivos que se instalen para el acceso a los recintos deberán ser eficaces y funcionar de manera que tan pronto tengan un fallo, impidan o eliminen el peligro de radiación.

Para una correcta señalización se colocarán letreros tanto en el interior como en el exterior del recinto, que expliquen el significado de la señal y las medidas de protección que se habrán de adoptar.

Cuando la fuente de radiación sea un aparato o una fuente accionada con electricidad, se deberá instalar algún tipo de dispositivo de control por si alguna persona quedara dentro y en caso de emergencia necesitara cortar la alimentación eléctrica, de tal manera, que se instalará un botón o cable de parada de emergencia en un lugar al que se pueda acceder sin tener que atravesar el haz primario.

Contaminación radiactiva

Cuando hay riesgo de contaminación radiactiva, las medidas de protección tienen por objeto evitar el contacto directo con la fuente radiactiva e impedir la dispersión de la misma. Como norma general, el personal que trabaja con radionucleidos deberá conocer de antemano el plan de trabajo y las personas que lo van a efectuar. El plan de trabajo contendrá información sobre las medidas preventivas a tomar, los sistemas de descontaminación y de eliminación de residuos y sobre el plan de emergencia.

Las medidas de protección se escogerán en función de la radiotoxicidad y actividad de la fuente, actuando sobre las instalaciones y zonas de trabajo y sobre el personal expuesto (protección personal).

Protección de las instalaciones, zonas de trabajo y normas generales

Las superficies deberán ser lisas, exentas de poros y fisuras, de forma que permitan una fácil descontaminación. Se deberá disponer de sistemas de ventilación adecuados que permitan una evacuación eficaz de los gases o aerosoles producidos, evitándose su evacuación al ambiente mediante la instalación de filtros. Se deberá efectuar un control de los residuos generados y del agua utilizada.

Deberán efectuarse controles periódicos de la contaminación en la zona, los materiales y las zonas utilizadas. Los sistemas estructurales y constructivos deberán tener una resistencia al fuego (RF) adecuada y se deberá disponer de los sistemas de detección y extinción de incendios necesarios. En toda instalación radiactiva estará absolutamente prohibido comer, beber, fumar y aplicarse cosméticos. A la salida de las zonas controladas y vigiladas con riesgo de contaminación, existirán detectores adecuados para comprobar una posible contaminación y tomar en su caso las medidas oportunas.

Protecciones personales

El uso de protecciones personales será obligatorio en las zonas vigiladas y controladas con riesgo de contaminación. Los equipos y prendas de protección utilizados deberán estar perfectamente señalizados y no podrán salir de la zona hasta que hayan sido descontaminados. Es aconsejable, dentro de lo posible, la

utilización de material de un solo uso que una vez utilizado deberá almacenarse en recipientes correctamente señalizados.

Uso Médico de las radiaciones

En el campo de la sanidad las radiaciones se usan tanto para el diagnóstico, por la capacidad de la radiación para permitir ver lo que no puede verse sin necesidad de recurrir a la cirugía, como para el tratamiento de enfermedades, por la capacidad de la radiación intensa para matar células.

Diagnóstico

Cuando la radiación X penetra en el cuerpo, produce una semisombra que contiene áreas más claras y más oscuras. Una película situada en la sombra de rayos X del paciente permite ver una imagen de los órganos internos, que luego se interpreta para el diagnóstico.

A partir de las clásicas radiografías utilizadas en traumatología o en la inspección del tórax, se han ido desarrollando nuevas aplicaciones como las mamografías, el examen dental, la osteoporosis, la tomografía axial computarizada (TAC), etcétera.

Las técnicas analíticas y el diagnóstico precoz se complementan con los procedimientos de contraste, en los que se introduce al paciente una determinada sustancia para hacer visibles a la radiación tejidos u órganos que no lo son en condiciones normales.

Tratamiento

La otra gran aplicación de la radiación en medicina surge de su capacidad para destruir células. Paradójicamente, esta capacidad que es el origen lógico del rechazo hacia la radiación cuando se recibe de forma incontrolada, puede convertirla en herramienta de curación cuando se dosifica y utiliza adecuadamente.

Junto a los tratamientos quirúrgicos y químicos, la aplicación selectiva de fuertes dosis de radiación en determinadas células se ha demostrado como una vía eficaz en ciertas modalidades de cáncer.

La radioterapia puede aplicarse utilizando un haz de electrones de alta energía dirigido al interior del tejido que necesita tratamiento (con una unidad de telecobalto o, más recientemente, con un acelerador lineal) o mediante la ingestión de una solución radiactiva que se deposita en el órgano a tratar (por ejemplo, en el tratamiento de la glándula tiroides).

Uso industrial

Las aplicaciones de las radiaciones ionizantes en el campo de la industria son muchas y muy variadas. La industria aprovecha la capacidad que las radiaciones tienen para atravesar los objetos y materiales y el hecho de que cantidades insignificantes de radionucleidos puedan medirse rápidamente y de forma precisa proporcionando información exacta de su distribución espacial y temporal.

Algunas de las aplicaciones más significativas de las radiaciones ionizantes en la industria son:

- **Medida de espesores y densidades.** Por ejemplo, en la fabricación de láminas metálicas se utiliza la radiación gamma por su alto poder de penetración.
- **Medida de niveles.** Para controlar procesos de llenado de depósitos o envases que contengan líquidos, especialmente cuando estos son corrosivos o se encuentran a elevadas temperaturas y en todos aquellos casos en los que sea imposible aplicar dispositivos de contacto.
- **Medida del grado de humedad.** Muy útil para medir la humedad en materiales a granel (arena, cemento, etc.) y en la producción de vidrio y hormigón.
- **Gammagrafía o radiografía industrial.** Usada, por ejemplo, para verificar las uniones de soldadura en tuberías.
- **Control de seguridad y vigilancia.** Todos los detectores de seguridad de aeropuertos, correos, edificios oficiales, etc. utilizan los rayos X para escanear bultos o personas.
- **Detectores de humo.**
- **Esterilización de materiales.** Partiendo de la acción bactericida de la radiación y utilizando fuentes encapsuladas (en las que el radionucleido está protegido de forma segura para que no se escape al exterior) de alta actividad y aceleradores de partículas. Muy utilizado en la industria farmacéutica y alimentaria.
- **Eliminación de la electricidad estática.** Aprovechando la ionización que provocan las radiaciones en los medios que atraviesan. Muy útil en la industria textil, de plásticos, papel, vidrio, etc.
- **Datación.** Mediante el análisis del carbono-14 radiactivo podemos determinar con precisión la edad de diversos materiales. Esto, además de para la industria, es muy útil para la investigación histórica, el estudio del clima o la restauración pictórica y escultórica.

- **Detección de fugas.** Introduciendo radionucleidos en las canalizaciones

Uso en la investigación y la docencia

El objetivo de las diferentes aplicaciones de las radiaciones ionizantes en investigación, es el estudio de los diferentes procesos biológicos que tienen lugar en los seres vivos.

Estas aplicaciones se pueden abordar a través de ensayos "in vivo" ó "in vitro".

Ensayos "in vivo": el fundamento de estos ensayos consiste en la administración de una sustancia radiactiva a un organismo vivo, para poder estudiar su evolución, su desaparición o la aparición de otras nuevas sustancias que son producto de las reacciones bioquímicas que se han ido produciendo.

El objetivo de estos estudios puede ser muy variado, desde estudiar el destino o la distribución intracelular de una determinada molécula hasta determinar la distribución de ésta en diferentes tejidos u órganos, para ver las diferentes rutas metabólicas, así como realizar estudios funcionales en distintos órganos.

Por ensayos "in vitro" entendemos todos aquellos ensayos relacionados con el marcaje de diferentes macromoléculas, como hidratos de carbono, lípidos, ácidos nucleicos, proteínas, etc. En este tipo de técnicas se utilizan cantidades muy bajas de radiotrazador ya que la muestra biológica suele ser muy pequeña, es por ello que se añade un trazador radiactivo, utilizando pequeñas cantidades de radioisótopos del orden de MBq.

A través de los resultados de estos estudios se consigue el marcaje de ácidos nucleicos, el marcaje de proteínas etc.

Resulta imposible enumerar todas las aplicaciones de las radiaciones ionizantes en el desarrollo de la investigación científica, tanto básica como aplicada. Se utilizan en numerosos estudios de Biología Celular y Molecular del cáncer, en patologías moleculares, evolución genética, terapia génica, desarrollo de nuevos fármacos etc.

Uso agroalimentario

También son muchas las aplicaciones de las radiaciones ionizantes en la agricultura y la alimentación:

- Desarrollo de cepas de cultivos y plantas alimenticias con mayor productividad y resistencia a la lluvia, las heladas o las plagas, que las especies originales.

- Control de insectos nocivos, como la mosca tse-tse, en Zanzíbar, la mosca de la fruta mediterránea, en México, y la larva de moscarda en el sur de Estados Unidos y el norte de África.
- Esterilización de material quirúrgico, así como de semillas o productos alimenticios para prolongar su durabilidad.
- Detección de humo en los hogares y locales públicos.
- Determinación de la eficacia de absorción de abono por las plantas para evitar el uso de fertilizantes químicos.
- Optimizar los recursos hídricos. Mediante el uso de sondas de neutrones se puede determinar la humedad de un terreno estableciendo así la cantidad de agua que le falta o le sobra para obtener una cosecha óptima, ahorrando con ello mucha agua.
- Control de plagas en determinadas áreas geográficas.
- Alimentación. Mediante la irradiación de rayos gamma, siempre bajo la supervisión de los organismos competentes y cumpliendo las normas establecidas, se prolonga el periodo de conservación de determinados alimentos.