

UNIDAD N° 1: RADIACIONES

INTRODUCCIÓN

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. Nada hay de nuevo sobre la radiactividad salvo la utilización que de ella ha ido aprendiendo el hombre. Tanto la radiactividad como la radiación que se produce se encontraban presentes en el espacio incluso antes de que la tierra apareciese.

La radiación intervino en el "big-bang" que, según se cree, dio nacimiento al Universo hace unos 20.000 millones de años. Desde entonces se ha difundido por el cosmos. Los materiales radiactivos se convirtieron en parte integrante de la Tierra desde el momento mismo de su formación. Incluso el hombre es ligeramente radiactivo, ya que todo tejido vivo contiene trazas de sustancias radiactivas. No obstante hace menos de un siglo que la humanidad descubrió este fenómeno elemental y universal.

En 1896 Henri Antoine Becquerel, un científico francés, premio Nobel de Física en 1903, guardó por casualidad en el mismo cajón varias placas fotográficas y un trozo de mineral que contenía uranio. Al revelarlas encontró, con sorpresa, que habían sido expuestas a una radiación, y supuso, con acierto, que el compuesto de uranio había emitido esa radiación capaz de velar las películas fotográficas. Poco después, una joven química nacida en Polonia, Marie Curie, llevó más lejos la investigación, acuñando la palabra "radiactividad". En 1898, ella y su marido, Pierre, descubrieron que a medida que el uranio cedía radiación se transformaba misteriosamente en otros elementos, denominando polonio -en referencia a su país natal- a uno de ellos y radio -el elemento "brillante"- a otro.

Tanto el trabajo de Becquerel como el de los Curie se apoyaron en gran medida en un hito científico anterior; en 1895 un físico alemán Wilhelm Roentgen, había descubierto los rayos X. Poco después, Becquerel experimentó la más problemática desventaja de la radiación, el efecto que puede producir en los tejidos vivos, al dañarle la piel un frasco de radio que guardaba en su bolsillo. Marie Curie murió de una enfermedad de la sangre probablemente, sabemos ahora, a causa de su exposición a la radiación.

A pesar de ello, un pequeño grupo de brillantes, y a menudo jóvenes científicos se embarcaron en una de las más apasionantes búsquedas de todos los tiempos, ahondando en los más profundos secretos de la materia misma.

Su trabajo iba a conducir con el tiempo, en 1945, a la explosión de las bombas atómicas al final de la II Guerra Mundial, con enormes pérdidas humanas. También

condujo, en 1956, al establecimiento de la primera gran central productora de energía nuclear, Calder Hall, en el Reino Unido. Mientras tanto, y desde los descubrimientos de Roentgen, se producía una continua expansión de los usos médicos de la radiación.

DESARROLLO

La **radiación** es la emisión, propagación y transferencia de energía en cualquier medio en forma de ondas electromagnéticas o partículas, en consecuencia en dicho concepto se incluyen las ondas de radio y televisión, la luz visible, la luz ultravioleta y los rayos X

Cuando algún tipo de materia intercepta una radiación y absorbe parte de su energía se dice que la misma está siendo irradiada o expuesta.

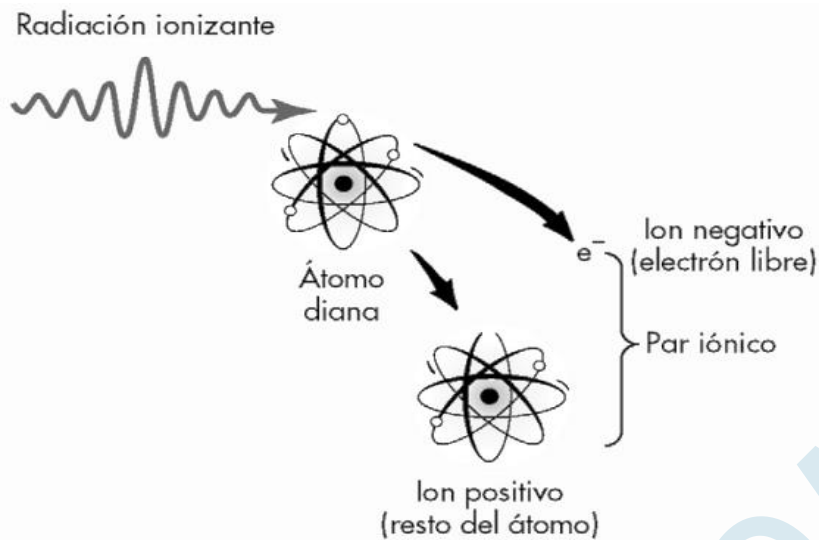
El efecto proveniente de la interacción entre la radiación y la materia depende de la cantidad de energía que ha sido transferida, por ello se habla de **radiaciones ionizantes**.

Las radiaciones ionizantes son fotones o partículas emitidas por elementos radioactivos o en procesos atómicos que poseen energía suficiente como para ionizar átomos o moléculas.

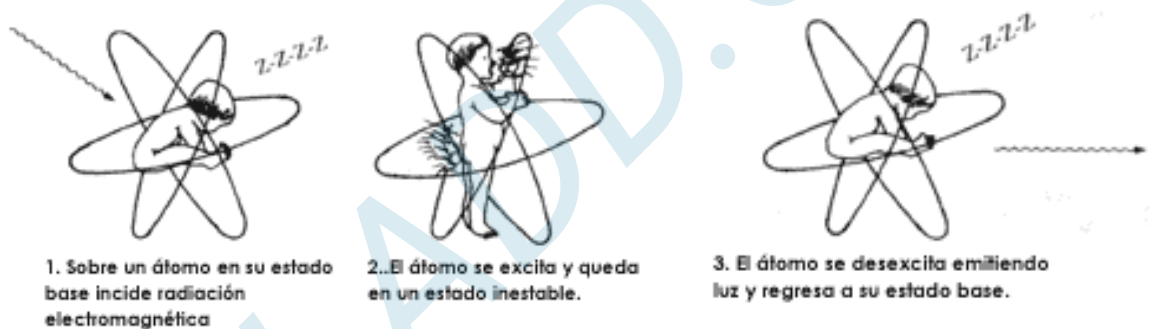
La interacción entre la radiación y la materia, y en particular la forma en que la radiación transmite su energía a la materia cuando la atraviesa, es un proceso extremadamente complejo. Aun así es posible dar una explicación cualitativa que contiene los elementos más importantes de esta interacción.

Las radiaciones ionizantes poseen alta energía y, al encontrar en su camino los átomos y moléculas de la materia, son capaces de romper los enlaces entre átomos, entre moléculas e incluso liberar electrones de los mismos (ionización). Los electrones liberados a su vez podrán repetir este proceso si tienen suficiente energía. En consecuencia, la ionización es la formación de un **par iónico**. Dicho par está formado por el electrón libre y el átomo del cual emergió este electrón.

Esta interacción producida entre la radiación incidente y la materia (que puede ser, como en nuestro caso particular, un medio biológico) puede ser directa o indirecta y es capaz de perturbar los procesos bioquímicos normales de las células afectadas, algunas de las cuales pueden auto regenerarse, mientras que otras resultan dañadas de forma irreparable.



La radiación también puede transferir parte de su energía a los átomos o moléculas, dejándolos en un estado con más energía. A este proceso se lo llama **excitación**. Luego podrán desexcitarse volviendo a emitir radiación.

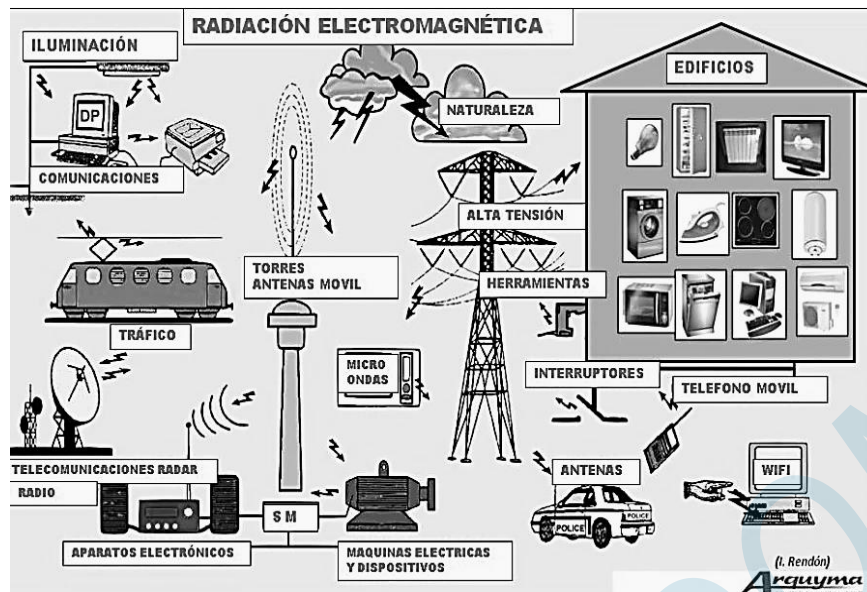


Además de las radiaciones ionizantes, existen las llamadas **radiaciones no ionizantes**, constituidas por ejemplo por la radiación infrarroja, gran parte del rango ultravioleta (UV), la luz visible, las ondas de radio, las microondas, la radiación empleada en las resonancias magnéticas, etc. Todas estas formas de radiación no tienen suficiente energía como para ser ionizantes y en la mayoría de ellas no se ha demostrado que tengan efectos negativos sobre la salud, su principal efecto consiste en excitaciones atómicas y moleculares.

Este tipo de radiación está presente en nuestra vida diaria, ya que utilizamos hornos de microondas, teléfonos celulares, radios, GPS y controles remotos entre otros.

Las radiaciones no ionizantes se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Los campos electromagnéticos
- Las radiaciones ópticas



Dentro de los campos electromagnéticos se pueden distinguir aquellos generados por las líneas de corriente eléctrica o por campos eléctricos estáticos. Otros ejemplos son las ondas de radiofrecuencia, utilizadas por las emisoras de radio en sus transmisiones y las microondas utilizadas en electrodomésticos.

Entre las radiaciones ópticas se pueden mencionar los rayos láser, los rayos infrarrojos, la luz visible y la radiación ultravioleta. Estas radiaciones pueden provocar calor y ciertos efectos fotoquímicos al actuar sobre el cuerpo humano.

La radiación ultravioleta (UV) es una radiación electromagnética cuya longitud de onda va aproximadamente desde los 400 nm, el límite de la luz violeta, hasta los 15 nm, donde empiezan los rayos X. El exceso de los rayos UV puede tener consecuencias graves para la salud, ya que es capaz de provocar cáncer, envejecimiento y otros problemas de la piel como quemaduras. Además puede causar cataratas y otras lesiones en los ojos y puede alterar el sistema inmunitario.

Cuanto menor es la longitud de onda de la luz ultravioleta, más daño puede causar a los seres vivos, pero también es más fácilmente absorbida por la capa de ozono.

Los rayos infrarrojos son un tipo de radiación electromagnética de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las microondas. El nombre de infrarrojo significa por debajo del rojo pues su comienzo se encuentra adyacente a este color en el espectro visible.

Los infrarrojos están asociados al calor, debido a que a temperatura normal los objetos emiten espontáneamente radiaciones en el rango de los infrarrojos. Cualquier cuerpo que tenga una temperatura mayor que el cero absoluto (0° Kelvin o $-273,15^{\circ}$ Celsius) emitirá radiación infrarroja.

Los infrarrojos se utilizan en los equipos de visión nocturna cuando la cantidad de luz visible es insuficiente para ver los objetos. La radiación se recibe y después se refleja en una pantalla. Los objetos más calientes se convierten en los más luminosos.

Un uso muy común es el que hacen los mandos a distancia (telecomandos), que generalmente utilizan los infrarrojos en vez de ondas de radio ya que éstos no interfieren con otras señales como las señales de televisión. Los infrarrojos también se utilizan para comunicar a corta distancia los ordenadores con sus periféricos.

Las microondas son ondas de radio de alta frecuencia y por consiguiente de longitud de onda muy corta, de ahí su nombre.

Dentro del espectro electromagnético las microondas están situadas entre los rayos infrarrojos (cuya frecuencia es mayor) y las ondas de radio convencionales.

Las microondas de origen natural son una radiación de baja temperatura que llega a la superficie de la Tierra desde el espacio. Arno Penzias y Robert W. Wilson fueron los primeros en detectarla y darla a conocer en 1965. Existe una teoría, ampliamente aceptada, que postula que esta radiación es lo que queda de las elevadísimas temperaturas propias de los primeros momentos del Big Bang.

Las microondas se pueden también generar artificialmente mediante dispositivos electrónicos. En la actualidad el horno microondas se ha convertido en un electrodoméstico casi imprescindible en nuestras cocinas. Las microondas tienen la propiedad de excitar la molécula de agua, que es lo que hace que los alimentos que contienen estas moléculas se calienten.

Clasificación de la Radiación Ionizante

Puede subdividirse en **Corpuscular y Electromagnética** teniendo en cuenta que los elementos que la formen posean o no masa y carga real.

Todas las Radiaciones Ionizantes no son iguales, aunque todas actúan de la misma manera sobre el tejido vivo, existen diferencias fundamentales entre los distintos tipos de radiaciones. Las diferencias se pueden analizar en función de 5 características físicas: masa, energía, velocidad, carga y origen.

Corpusculares:

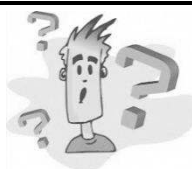
✓ Radiación alfa

Una partícula alfa es un conjunto de dos protones y dos neutrones estrechamente unidos. Es idéntica a un núcleo de helio 4 (^4He).

De hecho, su destino último después de haber perdido la mayoría de su energía cinética es capturar dos electrones y convertirse en un átomo de helio. Los radionucleidos

emisores de partículas alfa son en general núcleos relativamente pesados. Casi todos los emisores alfa tienen números atómicos iguales o superiores al del plomo (^{82}Pb).

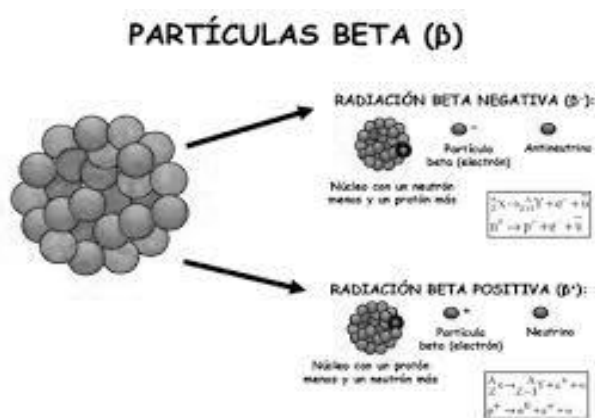
Los emisores alfa corrientes emiten partículas alfa con energías cinéticas entre unos 4 y 5,5 MeV. Debido a su masa no puede recorrer más de 5 centímetros en el aire, y no puede atravesar una hoja de papel, ni la epidermis. Por el contrario, si se introduce en el cuerpo una sustancia emisora de radiación 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).



¿Cuál es la masa, expresada en Kg, de una partícula alfa?

✓ Radiación beta

Una partícula beta es un electrón o positrón muy energético. (El positrón es la antipartícula del electrón. Tiene la misma masa y la mayoría de las demás propiedades del electrón, salvo su carga, cuya magnitud es exactamente la misma que la del electrón, pero de signo positivo.) Los radionucleidos emisores beta pueden ser de peso atómico alto o bajo.



Las energías beta máximas típicas oscilan desde 18,6 keV para el tritio (^3H) a 1,71 MeV para el fósforo 32 (^{32}P).

El alcance de las partículas beta en el aire es de unos 3,65 m por MeV de energía cinética. Se necesitan partículas beta de 70 KeV de energía como mínimo para atravesar la epidermis. Las partículas beta son radiación de baja LET.

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.

✓ **Radiación de neutrones**

Por lo general, los neutrones no son emitidos como resultado directo de la desintegración radiactiva natural, sino que se producen durante reacciones nucleares. Los reactores nucleares son los que generan neutrones con mayor abundancia, pero también los aceleradores de partículas y las fuentes especiales de neutrones.

Los reactores nucleares producen neutrones cuando los núcleos del uranio (U) que constituye el combustible nuclear se desdoblán o fisiónan. De hecho, la producción de neutrones es esencial para mantener la fisión nuclear en un reactor.

Los aceleradores de partículas producen neutrones mediante la aceleración de partículas cargadas, como protones o electrones, hasta que alcanzan altas energías, para bombardear con ellas los núcleos estables de un blanco. 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

Electromagnéticas:

✓ **Radiación gamma**

La radiación gamma es radiación ionizante de alta energía emitida por un núcleo cuando experimenta una transición de un estado de energía mayor a otro menor. Los fotones gamma tienen cerca de 10.000 veces más energía que los fotones en el rango visible del espectro electromagnético.

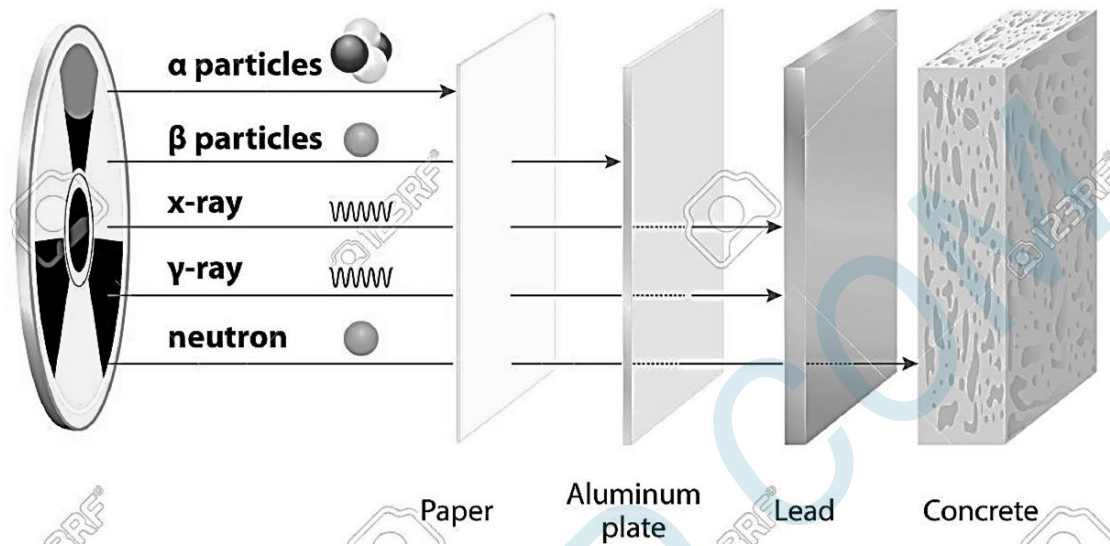
No tienen masa ni carga eléctrica son pura energía electromagnética. Debido a su alta energía, viajan a la velocidad de la luz y pueden cubrir cientos de miles de metros en el aire antes de gastar su energía. Pueden pasar a través de muchos tipos de materiales, incluidos los tejidos humanos. Los materiales muy densos, como el plomo, se utilizan comúnmente como blindaje para disminuir o detener los fotones gamma.

Sus longitudes de onda son tan cortas que deben ser medidos en nanómetros.

El poder de los rayos gamma es penetrante y tienen capacidad para recorrer grandes distancias, se considera el peligro principal para la población en general en situaciones de emergencia radiológica. De hecho, cuando el término "enfermedad de la radiación" se utiliza para describir los efectos de los grandes riesgos de cortos períodos de tiempo, los daños más graves son resultado, casi con toda seguridad de la radiación gamma.

✓ **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.

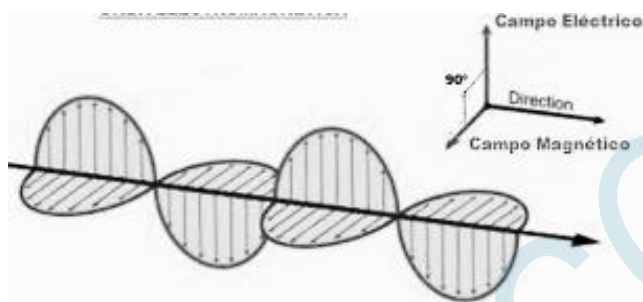




ONDAS ELECTROMAGNETICAS

Ya sabemos que este tipo de radiación ionizante está formada por los rayos X y los rayos γ (gamma).

Una onda electromagnética (OEM) puede considerarse como una doble onda, formada por dos campos, uno eléctrico y otro magnético, que se encuentran en fase y cuyos planos son perpendiculares entre sí.



Debido a la doble naturaleza de las OEM, las radiaciones se comportan de dos formas: a) como corpúsculo, debido a los fotones y b) como onda.

Algunas OEM de longitudes de onda corta, como los rayos X, interaccionan con la materia más como si fuesen corpúsculos que si fuesen ondas. Estas partículas son pequeños "paquetes" de energía llamados **cuantos o fotones**.

Los **fotones** son partículas sin masa, es decir, no están constituidas por materia. Esto, de entrada, complica las cosas porque resulta bastante difícil imaginar una partícula que no está hecha de nada material. El problema se debe a que el concepto de partícula ha cambiado sustancialmente a lo largo del último siglo. Según la Física clásica una partícula es una entidad puntual con masa. A esto se denomina **partícula material** o clásica. Se trata de un concepto asequible porque se acerca bastante a nuestra experiencia sensible de lo que son los objetos materiales. Pero en la Física moderna el concepto de partícula se hace mucho más abierto y complejo a la luz de la mecánica cuántica. Las partículas son entidades que portan energía, pero no necesariamente poseen masa. Su posición en cada instante no es concreta sino que pueden existir simultáneamente en varios estados de posición.

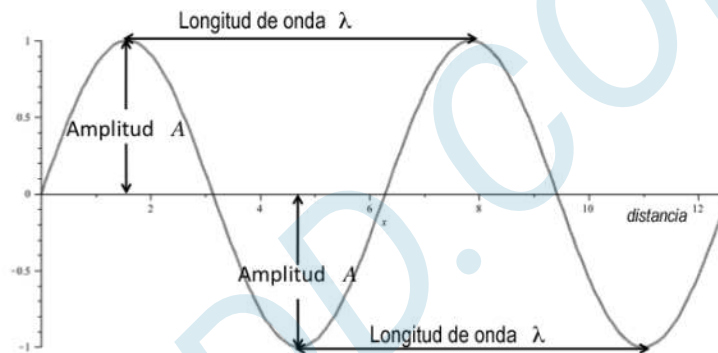
Los fotones de todos los tipos de radiaciones son esencialmente iguales, ya que pueden ser representados como un haz de energía que viaja a la velocidad de la luz ($C = 3 \times 10^8$ m/s). La cantidad de energía contenida en cada fotón va a depender de la frecuencia de la radiación, cuanto mayor sea dicha frecuencia, mayor energía tendrá la radiación.

Podemos definir al fotón como:

La cantidad más pequeña de cualquier tipo de radiación electromagnética el que se puede representar como un pequeño haz energético llamado también "quantum" que recorre el espacio a una velocidad igual a la de la luz.

Los fotones no tienen masa, en consecuencia no se pueden identificar fácilmente, pero sí tienen un campo eléctrico y magnético que varían de manera permanente en forma sinusoidal a la cual se la denomina *onda sinusoidal*. Una onda sinusoidal se puede describir mediante una fórmula matemática, por eso tiene gran aplicación en física.

Las ondas sinusoidales tienen características tales como: amplitud, frecuencia y longitud de onda.



Escriba aquí las definiciones de cada una de los parámetros más importantes de una OEM:

1) Amplitud:.....

.....

2) Frecuencia:.....

.....

.....

3) Longitud de Onda:.....

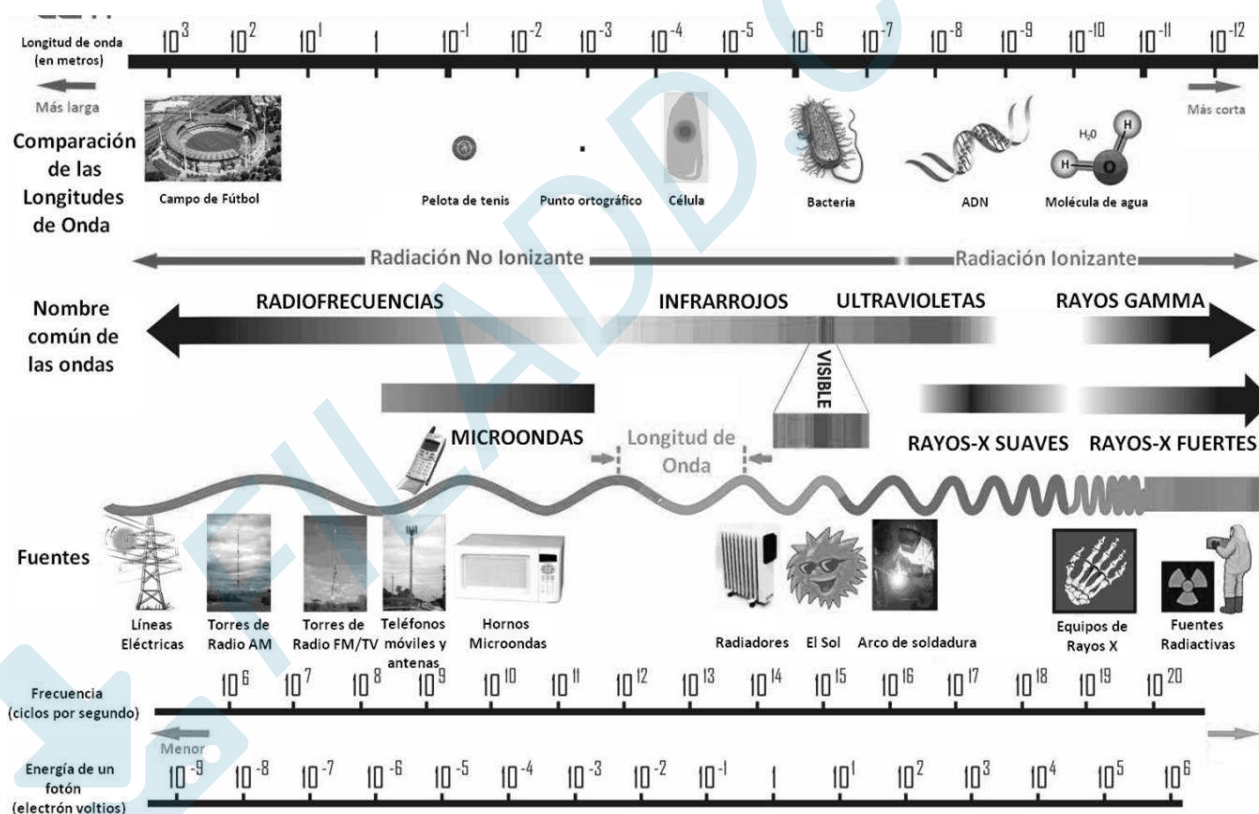
.....

.....

La cantidad de energía contenida en cada fotón va a depender de la frecuencia de la radiación, cuanto mayor sea dicha frecuencia, mayor energía tendrá la radiación. Un fotón de radiación y uno de luz visible son en esencia iguales, solo se diferencian por su longitud de onda y frecuencia, lo que da lugar a variaciones en la forma de interaccionar con la materia.

Las radiaciones electromagnéticas se pueden clasificar de acuerdo a su energía, a su frecuencia o a su longitud de onda. Este conjunto ordenado de radiaciones, según los parámetros mencionados constituye el llamado ***Espectro Electromagnético***.

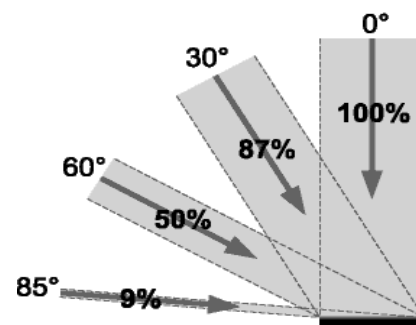
El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio. Se cree que el límite para la longitud de onda más pequeña posible es la longitud de Planck mientras que el límite máximo sería el tamaño del Universo. El comportamiento de las radiaciones electromagnéticas depende de su longitud de onda. Cuando la radiación electromagnética interactúa con átomos y moléculas puntuales, su comportamiento también depende de la cantidad de energía por quantum que lleve.



Propiedades de las Ondas Electromagnéticas

- ✓ **Trayectoria rectilínea.** Para las aplicaciones médicas de las radiaciones es fundamental la **ley del inverso del cuadrado**, que indica que la intensidad de la radiación electromagnética que incide sobre una superficie está en relación inversa con el cuadrado de la distancia entre el foco emisor y dicha superficie, es decir que a una distancia doble, la intensidad decrece a una cuarta parte.

- ✓ **Ley del coseno de Lambert:** es de interés para las aplicaciones médicas ya que expresa que la máxima intensidad de la radiación sobre una superficie se consigue cuando esta es perpendicular al haz de radiación; si la superficie irradiada es oblicua respecto a dicho haz, la intensidad recibida es menor.



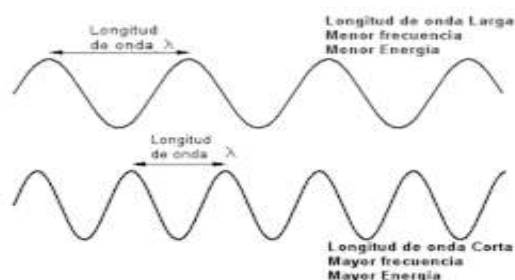
- ✓ **Ley de Grothuss-Draper:** es importante desde el punto de vista biológico, la misma establece que solo es eficaz la radiación absorbida en las aplicaciones de las radiaciones ionizantes ya que ésta indicará la capacidad terapéutica o lesiva de las mismas.

Para describir por completo un fotón de radiación electromagnética son necesarios los tres parámetros de la onda: velocidad, frecuencia y longitud de onda. Entre ellos existe una relación muy importante ya que el cambio de alguno de ellos afecta a los otros dos.

Aunque la **energía electromagnética** siempre se desplaza a la misma velocidad en el vacío, las ondas electromagnéticas se diferencian unas de otras en su **frecuencia** y en su **longitud de onda**. De hecho, esa velocidad (c) puede describirse mediante una sencilla expresión que relaciona las tres magnitudes y que sirve para cualquier onda electromagnética, Esa relación es llamada: **la ecuación de las ondas**.

$$C = \lambda \times F$$

Esta fórmula también nos permite expresar la longitud de onda en función de la frecuencia o la frecuencia en función de la longitud de onda. Como es lógico, ambas son inversamente proporcionales, es decir, cuanto mayor es la longitud de onda menor será su frecuencia.



Estas características son muy importantes porque cuanto menor es la longitud de onda de un fotón mayor es su energía. Es decir, diferentes fotones pueden transportar diferente cantidad de energía en función de las características de la onda electromagnética que les caracteriza.

Las frecuencias de las ondas electromagnéticas son enormemente variables, desde el tamaño de una partícula subatómica hasta el de una ciudad, de modo que las energías

asociadas a ellas también lo son. Al rango de variación de las frecuencias de las ondas electromagnéticas se le llama **espectro electromagnético** y es tan amplio que las ondas electromagnéticas se clasifican en varios tipos, porque sus efectos son muy diferentes

Teoría del Quantum

Ya quedó establecido que los fotones de Rayos X son creados a la velocidad de la luz y sólo pueden existir a esa velocidad o desaparecer totalmente. Este, precisamente es uno de los puntos esenciales de la Teoría del quantum de Planck. Otra consecuencia más importante de esta teoría es la relación existente entre la energía del fotón y su frecuencia.

La constante de proporcionalidad, conocida como **Constante de Planck**, se simboliza con la letra **h** y tiene un valor numérico de **4,15 x 10⁻¹⁵ eV/ Hz.** o de **6,64 x 10⁻³⁴ Joules**

Desde el punto de vista matemático, la relación entre Energía y Frecuencia se expresa como:

$$E = F \times h$$

Dónde: **E** es la energía del fotón expresada en eV,

h es la constante de Planck en eV/ s

F es la frecuencia del fotón en Hertzios

Mediante la fórmula anterior también podremos determinar el valor de frecuencia de un fotón conociendo su energía:

$$F = E / h$$

Como extensión de la ecuación de Planck se relaciona la energía y la longitud de onda del fotón de la siguiente manera:

$$E = \frac{C \times h}{\lambda}$$

MATERIA Y ENERGÍA

Según la física clásica, la energía no puede ser creada ni destruida según la *Ley de la Conservación de la Energía*, así como tampoco la materia. De acuerdo con la física cuántica, la materia puede transformarse en energía y viceversa. Hay muchos hechos que permiten demostrar la conversión de masa en energía y la conversión de energía en masa.

A consecuencia de la teoría de la relatividad de Einstein surge una ecuación que permite calcular la equivalencia masa-energía. La fórmula conocida por todos es:

$$E = m \cdot C^2$$

Dónde: **E** es la energía medida en Joules,

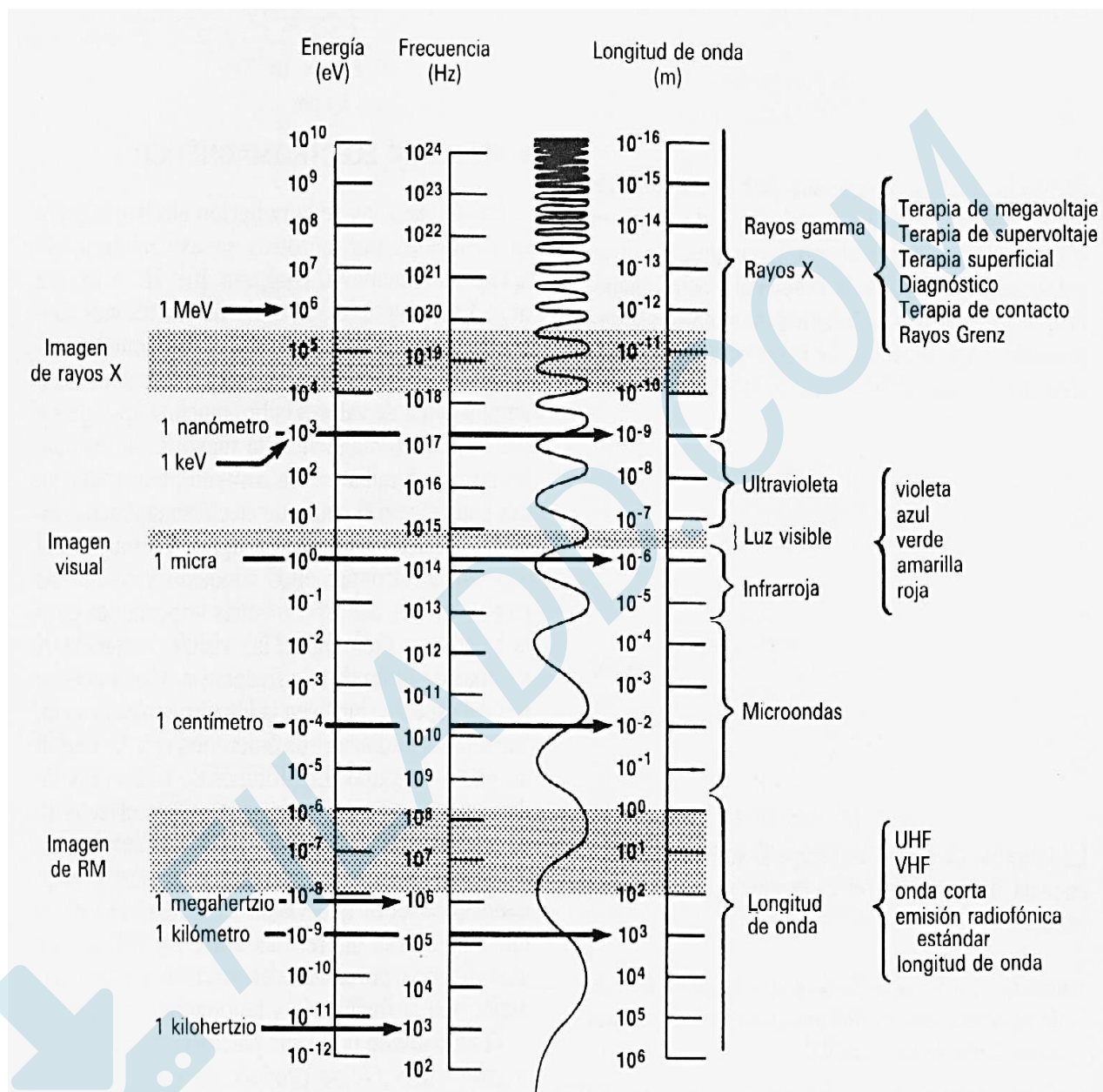
m es la masa medida en Kilogramos y

C es la velocidad de la luz en m/s

Un Joule es igual a $6,24 \times 10^{18} \text{ eV}$ y un eV es igual a $1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$

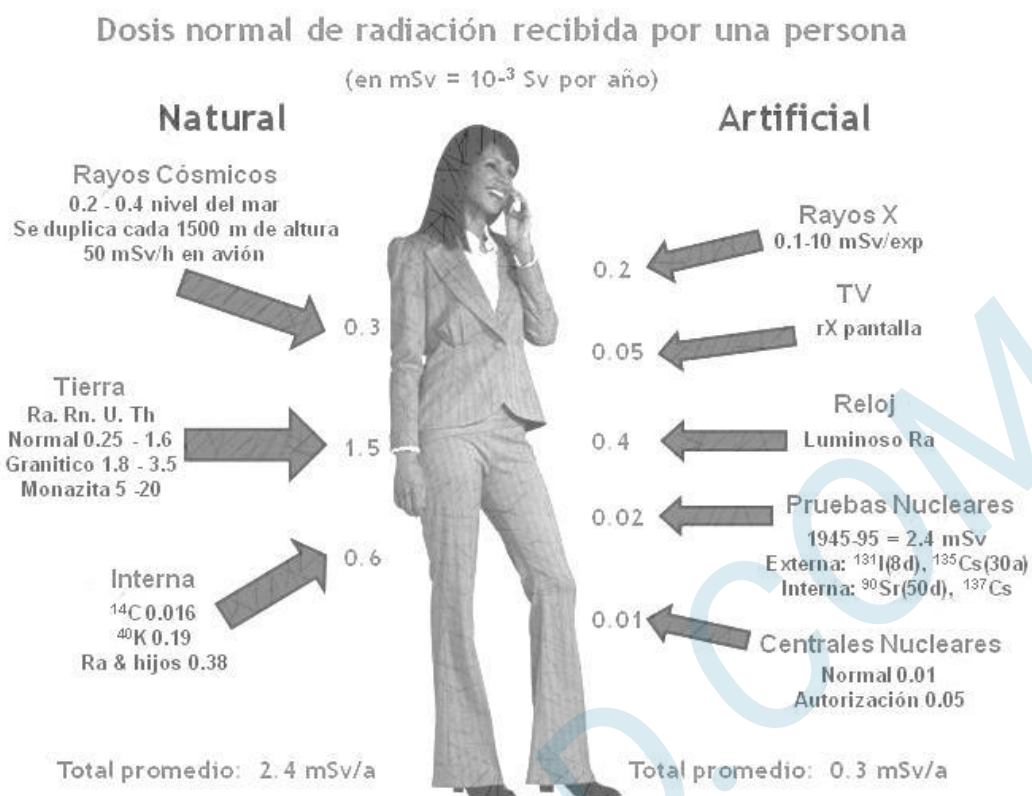
También es posible calcular el equivalente masa de un fotón conociendo su energía de acuerdo a la fórmula:

$$m = E / C^2$$





FUENTES DE RADIACIÓN – CLASIFICACIÓN



1) Naturales

La mayor parte de las radiaciones recibidas por la poblaci3n mundial proviene de fuentes naturales; siendo inevitable la exposici3n a la mayoria de ellas. La radiaci3n que procede del espacio exterior y de los materiales de la corteza ha afectado la superficie terrestre a lo largo de toda la historia. La exposici3n del hombre y todos los seres vivos a estas fuentes naturales varia de un lugar a otro, dependiendo tambi3n de su forma de vida.

Una caracteristica distintiva de la radiaci3n natural es que afecta a toda la poblaci3n con una intensidad relativamente constante a lo largo del tiempo.

La utilizaci3n de determinados materiales de construcci3n en sus viviendas, el cocinar con gas, el uso de carb3n, el aislamiento t3rmico de los ambientes e inclusive los viajes en aviaci3n aumentan la exposici3n a la radiaci3n natural.

Las principales fuentes naturales son:

a) Radiaci3n Terrestre:

Puesto que en la corteza terrestre existen materiales radiactivos naturales, estamos expuestos a radiaci3n directamente del suelo y de las rocas superficiales. Tambi3n podemos recibir radiaci3n procedente de los materiales de construcci3n, como ladrillos y hormig3n, hechos a base de materiales extraidos de la tierra.

Los principales materiales radiactivos presentes en las rocas son el potasio 40 (K^{40}), el rubidio 87 (Rb^{87}) y dos series de elementos radiactivos procedente de la desintegraci3n

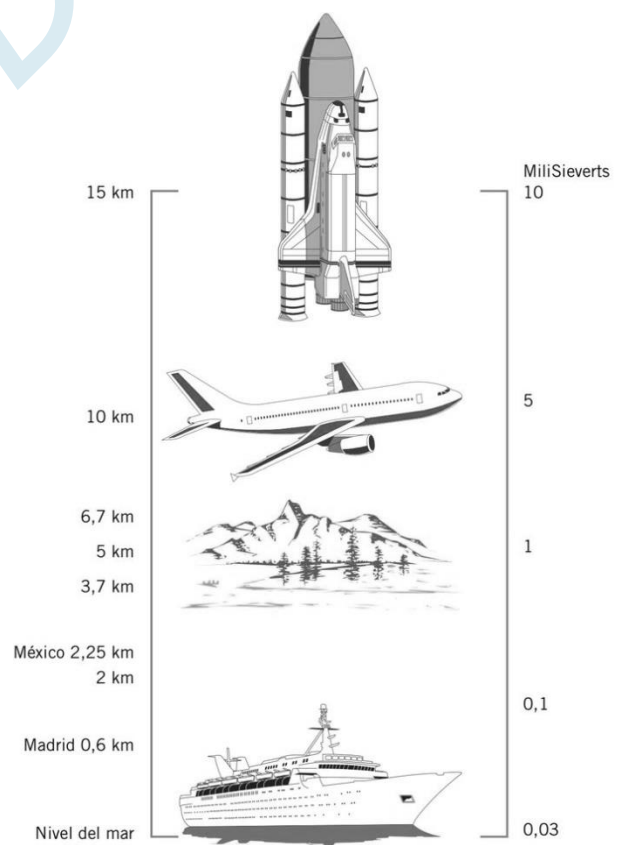
del uranio, el uranio 238 (U^{238}) y torio 232 (Th^{232}). Cabe considerar que los niveles de radiación terrestre alrededor del mundo difieren de un lugar a otro por la variación de la concentración de estos materiales en la corteza. Se calcula, en promedio, que la población mundial recibe una dosis equivalente de 350 μ Sv por año.

Existen lugares en Italia, Brasil, Francia, la India y Nigeria, donde los niveles de radiación al aire libre debido a fuentes terrestres son mucho mayores que los promedios observados en el resto del mundo. Esto se debe a que la composición del suelo del lugar contiene una concentración "anormalmente" alta de radioisótopos. En Brasil existe una región costera en los estados de Espírítu Santo y de Río de Janeiro, cuyas arenas son fuertemente radiactivas. En poblaciones cercanas se han medido niveles al aire libre, en las calles, que son 50 veces más grandes que los considerados "normales", mientras que en las playas —a las que acuden unos 30 000 veraneantes cada año— los valores medidos llegan a ser 500 veces superiores a los promedios.

b) Radiación Cós mica:

Los **rayos cósmicos** son partículas subatómicas que proceden del espacio exterior y que tienen una energía muy elevada debido a su gran velocidad, cercana a la velocidad de la luz. Se descubrieron cuando pudo comprobarse que la conductividad eléctrica de la atmósfera terrestre se debía a la ionización causada por radiaciones de alta energía.

Ahora se sabe que la mayoría de los rayos cósmicos son, en realidad, núcleos atómicos de hidrógeno, helio o elementos pesados. La mayor parte de los rayos cósmicos de menor energía provienen del Sol, pero se desconoce el origen de los rayos cósmicos de muy alta energía.



Cuando los rayos cósmicos interactúan en la atmósfera terrestre con elementos estables, se producen los denominados radionúclidos cosmogénicos. Estos radionúclidos son el carbono-14 (C^{14}), el tritio (H^3) y el berilio-7 (Be^7). La radiación cósmica es la fuente principal de estos radionúclidos en la Tierra.

En 2007, un grupo de científicos argentinos del Observatorio Pierre Auger realizó un espectacular descubrimiento que inauguró una nueva rama de la astronomía. Este grupo encontró evidencias de que la mayor parte de las partículas de rayos cósmicos proviene de una constelación cercana: Centaurus.

La atmósfera terrestre atenúa la radiación cósmica, así que cuanto más aire haya entre nosotros y el espacio exterior más protegidos estaremos. Por tanto, la exposición a la radiación cósmica depende, entre otros factores, de la altitud a la que nos encontremos.

Así, durante los vuelos en aviones comerciales recibimos más radiación cósmica que en la superficie de la tierra. La cantidad de radiación cósmica aumenta aproximadamente al doble cada 1.800 metros. La latitud también influye en la radiación cósmica que recibimos, ya que el campo magnético terrestre desvía la radiación, de tal manera, que la dosis es menor en el Ecuador que en los Polos.

c) Radón (Rn):

El radón es un gas de origen natural. No tiene olor, color ni sabor. El radón se produce a partir de la desintegración radiactiva natural del uranio, que está presente de forma natural en suelos y rocas. El radón también puede estar presente en el agua.

El radón emana fácilmente del suelo y pasa al aire, donde se desintegra y emite partículas radiactivas. Al respirar e inhalar esas partículas, estas se depositan en las células que recubren las vías respiratorias, donde pueden dañar el ADN y provocar cáncer de pulmón. Sin embargo, cuando entra en un edificio, a través del suelo o de los propios muros, la concentración aumenta a menos que el edificio sea adecuadamente ventilado. La cantidad de radón emanada del suelo varía en función del tipo de suelo, en concreto depende del contenido de uranio que tenga.

En el granito hay cuarzo, mica y feldespato, pero también hay otros elementos en menor cantidad, entre ellos U. El uranio natural U-238 se puede convertir en radio y éste libera radón. Por tanto, en los terrenos con mayor cantidad de granito habrá más producción de gas radón.

Al aire libre, el radón se diluye rápidamente, tiene concentraciones muy bajas y no suele representar ningún problema. La concentración media de radón al aire libre varía entre 5 Bq/m³ y 15 Bq/m³.

En cambio, en espacios cerrados, las concentraciones de radón son más elevadas, en especial en lugares como minas, cuevas y plantas de tratamiento de aguas, donde se registran los niveles más altos. En las viviendas, las concentraciones de radón oscilan entre <10 Bq/m³ y 10.000 Bq/m³.

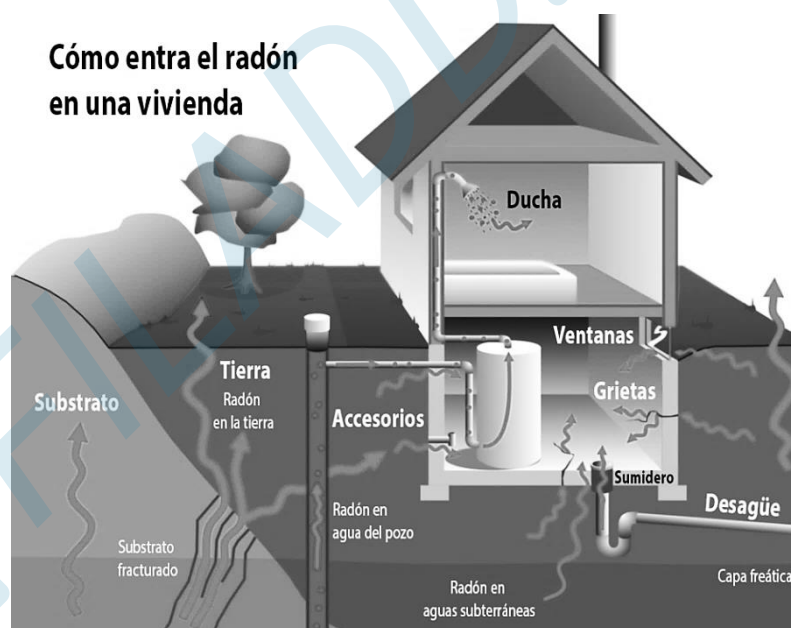
El radón es la segunda causa más importante de cáncer de pulmón después del tabaco. Se estima que la proporción de los casos de cáncer de pulmón atribuibles al radón con respecto al total varía entre un 3% y un 14%, en función de la concentración media de radón en el país correspondiente.

La mayor exposición al radón suele producirse en el hogar. La concentración de radón en una vivienda depende de:

- la cantidad de uranio que contienen las rocas y el terreno del subsuelo;
- las vías que el radón encuentra para filtrarse en las viviendas; y
- la tasa de intercambio de aire entre el interior y el exterior, que depende del tipo de construcción, los hábitos de ventilación de sus habitantes y la estanqueidad del edificio.

Por lo general, el Radón suele alcanzar concentraciones más elevadas en los sótanos, bodegas y otras zonas estructurales que están en contacto directo con el terreno.

El radón se filtra en las casas a través de grietas en los suelos o en la unión del piso con las paredes, espacios alrededor de las tuberías o cables, pequeños poros que presentan las paredes construidas con bloques de hormigón huecos, o por los sumideros y desagües



d) Otras fuentes:

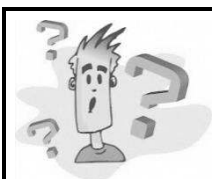
- ✓ El *carbón* como la mayoría de los materiales naturales, contiene vestigios de radionucleidos primordiales. Su combustión produce la liberación de estos al medio ambiente, donde pueden afectar al hombre.
- ✓ La *energía geotérmica* contribuye en escasa medida a la exposición, pero su importancia puede aumentar ya que en algunos países se utilizan las reservas de vapor y agua caliente existentes en el interior de la tierra para generar electricidad o calentar edificios. La energía geotérmica corresponde a la energía calórica contenida

en el interior de la tierra, que se transmite por conducción térmica hacia la superficie, la cual es un recurso parcialmente renovable y de alta disponibilidad. El conjunto de técnicas utilizadas para la exploración, evaluación y explotación de la energía interna de la tierra se conoce como geotermia.

Hay dos tipos fundamentales de áreas térmicas: hidrotérmicas, que contienen agua a alta presión y temperatura almacenada bajo la corteza de la tierra en una roca permeable cercana a una fuente de calor; y sistemas de roca caliente, formados por capas de roca impermeable que recubren un foco calorífico. Para aprovechar este último se perfora hasta alcanzarlo, se inyecta agua fría y ésta se utiliza una vez calentada. En la actualidad los reservorios hidrotérmicos son los más aprovechados para fines energéticos, en particular en generación eléctrica.

- ✓ Los *fosfatos* se emplean en la elaboración de fertilizantes, la mayoría de los yacimientos en explotación contienen elevadas concentraciones de U. La extracción y transformación del mineral produce la liberación de radón y los fertilizantes obtenidos son radiactivos y contaminan los alimentos.

Los productos son utilizados como complemento de la alimentación animal lo que provoca un aumento significativo de los niveles de radio en la leche.



Realice una investigación breve sobre los alcances actuales de la energía geotérmica.

2) Artificiales

A la radiación ionizante de origen natural, anteriormente mencionada, se le ha sumado la radiación ionizante artificial que el ser humano aprendió a producir para satisfacer sus necesidades e intereses. Ambas radiaciones, natural y artificial, se comportan de la misma forma.

Las radiaciones ionizantes tienen muchas aplicaciones beneficiosas para el hombre en áreas tan distintas como la medicina, la conservación del medio ambiente, la industria, agroalimentación, la erradicación de plagas de insectos y la producción de energía.

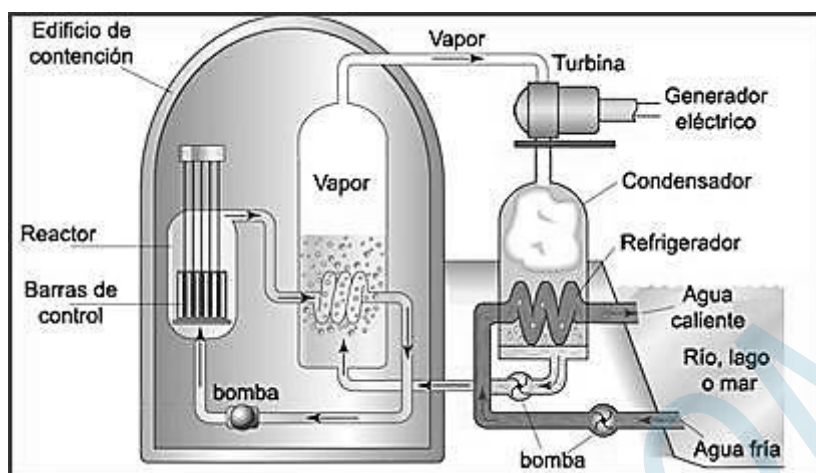
| FUENTES | | CURIOSIDADES/CAUSAS | DOSIS ABSORBIDA PROMEDIO/PERSONA Y AÑO |
|--|------------------|---|--|
| Aplicaciones Médicas | Radioterapia | La dosis de radioisótopos es más elevada que para otras aplicaciones médicas y su objetivo será dañar las células tumorales con la mínima incidencia sobre el resto de las células sanas, siempre y cuando sea posible. | Altas dosis, decenas Gy, en zonas determinadas del cuerpo. Contribución a la dosis total, 10 micro Sv. |
| | Radiodiagnóstico | Exploración de Rayos X en países avanzados, aproximadamente 800 por cada 1000 habitantes. | Una exploración lleva asociada dosis algo inferior a 1mSv. No obstante, esto oscila debido a : <ul style="list-style-type: none"> diferentes tipos de exploración estado de los equipos procedimiento de obtención de imagen y preparación del personal que opera con dichos equipos Para hacernos una idea, en radiodiagnóstico recibimos un promedio de 500 microSv y en medicina nuclear 20microSv. |
| | Medicina Nuclear | Exploración de Rayos X en países avanzados, aproximadamente 16 por cada 1000 habitantes. | |
| Explosiones militares | | En el periodo comprendido entre 1945 y 1963, año en el que se firmó el tratado de prohibición de pruebas nucleares, se realizaron numerosas explosiones nucleares. Los radionúclidos se dispersaron por la atmósfera y se incorporaron a la biosfera. | Aproximadamente 10microSv |
| Producción de electricidad de origen nuclear | | Producción de energía a partir de la fisión nuclear. | Se estima, si no hay accidentes, en un valor inferior a la milésima parte del fondo radiactivo natural. |
| Otros usos industriales | | Radiografía industrial; procesos de esterilización de alimentos; aparatos de TV; pantallas de ordenador,... | La dosis media para estas fuentes de carácter diverso es de aproximadamente 7microSv. |

ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE LA ENERGÍA NUCLEAR

La energía eléctrica se obtiene de la energía nuclear en unas instalaciones específicas denominadas centrales nucleares. En estas instalaciones se cuentan con los reactores nucleares, en los cuales se generan procesos de fisión nuclear, para liberar la energía del núcleo y obtener la energía calorífica.

Las fisiones nucleares que se provocan en el reactor nuclear generan gran cantidad de energía calorífica (calor). Este calor se usa para calentar agua en un circuito cerrado hasta convertirla en vapor. El vapor que se encuentra a una alta temperatura va hacia una turbina eléctrica haciéndola girar; así parte de la energía calorífica se transforma en

energía cinética. La turbina se encuentra conectada a un generador eléctrico que transforma la energía mecánica de su giro en energía eléctrica



El material o combustible nuclear al cual se le aplican los procesos de fisión nuclear para la obtención de la energía calorífica son principalmente el isótopo de Plutonio "Pu-239" y el isótopo del Uranio "U-235". Son usados preferentemente debido a dos razones: son elementos radiactivos con alta susceptibilidad a desarrollar procesos de fisión nuclear y presentan mayor eficiencia en cuanto a la generación de energía calorífica.

El Uranio es la principal materia prima para la producción de combustible nuclear, pero en su estado natural presenta muy bajas concentraciones del isótopo "U-235", por lo cual para poder ser usado como combustible nuclear debe someterse a un proceso de enriquecimiento de este isótopo. El conjunto de operaciones que van desde la extracción del mineral de uranio en la mina hasta su carga como combustible en la central se denomina "primera parte del ciclo de combustible nuclear".

El ciclo del combustible nuclear comprende todas las fases del proceso, desde la extracción del mineral de uranio para la fabricación del combustible nuclear hasta la gestión definitiva de los residuos radiactivos generados por las centrales nucleares. Dichas fases son: extracción del mineral de Uranio, enriquecimiento del isótopo "U-235", fabricación de elementos combustibles, utilización de los elementos combustibles, recarga del combustible, almacenamiento en piscina del combustible nuclear gastado, almacenamiento temporal individualizado de combustible irradiado de una sola central, almacenamiento temporal centralizado de varias centrales nucleares, almacenamiento geológico profundo de residuos de alta radiactividad.

¿Cuáles son las Ventajas de obtener energía eléctrica a través de la energía nuclear?

Entre los principales argumentos a favor de usar la energía nuclear para la obtención de energía eléctrica se encuentran:

- Es una fuente energética que garantiza el abastecimiento eléctrico.

- Se emite una baja cantidad de gases de efecto invernadero y de contaminantes asociados al uso de combustibles fósiles.
- Se reduce la dependencia energética exterior de combustibles fósiles como el petróleo.

¿Cuáles son los argumentos en contra de la obtención de energía eléctrica a través de la energía nuclear?

Entre los principales argumentos en contra de usar la energía nuclear para la obtención de energía eléctrica están:

1. Se utiliza una fuente no renovable de energía.
2. La producción de residuos radiactivos
3. El riesgo asociado a la posibilidad de accidentes nucleares con sus consecuencias negativas para el medio ambiente y la salud humana
4. Los altos costos de la construcción de las centrales nucleares y de su mantenimiento



Investigue acerca de accidentes ocurridos en centrales nucleares

FUENTES MÉDICAS

El descubrimiento de los rayos X marcó el principio de la segunda revolución científica: el nacimiento de la física moderna. De hecho fue el hallazgo de la física que mayor impacto directo ha tenido en la medicina. Con él nacieron la radiología, la medicina nuclear y comenzaron los estudios de los físicos sobre la estructura de la materia, los cuales han permitido desarrollar importantes herramientas para diagnosticar y tratar algunas enfermedades.

El diagnóstico y tratamiento de la enfermedad, así como la investigación de la causa de ésta mediante el uso de la radiación ionizante, ha aumentado enormemente nuestra esperanza de vida, salud y bienestar. Sin embargo, en medicina, como en otras áreas, siempre que se utilicen radiaciones ionizantes es imprescindible valorar tanto los beneficios esperados como los daños que éstas pudieran producir.

En el campo de la sanidad las radiaciones se usan tanto para el **diagnóstico**, ya que permiten ver el interior de las personas sin necesidad de recurrir a la cirugía, como para el **tratamiento** de algunas enfermedades, por la capacidad de la radiación a altas dosis para matar las células tumorales.

En los países desarrollados, la exposición a radiaciones ionizantes con fines médicos constituye la principal fuente de exposición a radiación artificial. Sin embargo, la situación es totalmente distinta en países en desarrollo, donde dos terceras partes de la población no tienen acceso ni siquiera a una radiografía básica.

CLASIFICACION DE LAS FUENTES MEDICAS DE RADIACIÓN

Según la forma de presentación y de utilización del material radiactivo pueden clasificarse de la siguiente manera:

| FUENTE | APLICACIONES |
|-------------------------------|--|
| 1) Generadores de Radiaciones | Radiodiagnóstico Radioterapia con rayos X Radioterapia con aceleradores Teleterapia |
| 2) Fuentes encapsuladas | Braquiterapia |
| 3) Fuentes No encapsuladas | Radiofármacos Radioinmunoanálisis Estudios morfológicos y funcionales Investigación |

1) GENERADORES

Son los equipos capaces de producir radiaciones (aparatos de rayos x) y los aceleradores de partículas (productores de electrones, protones o neutrones).

En estas instalaciones se presentan considerables riesgos de irradiación externa.

2) FUENTES ENCAPSULADAS

Están constituidas por todo material radiactivo herméticamente cerrado y sellado dentro de un contenedor de material no radiactivo, muy resistente que lo protege de toda fuga. Estas fuentes presentan riesgos de irradiación externa debido a la desintegración radiactiva del material empleado, cuya magnitud dependerá de la actividad de la fuente radiactiva.

3) FUENTES NO ENCAPSULADAS

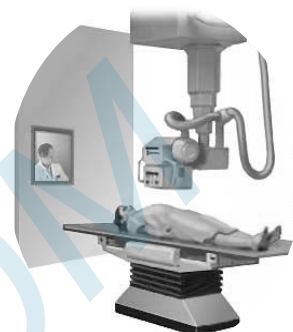
Son las que contienen sustancias radiactivas sólidas, líquidas o gaseosas que pueden ser extraídas de su contenedor hermético, no sellado, para manipularlas en el exterior. El

riesgo fundamental que representa su uso es el de contaminación, existiendo también riesgos mínimos de irradiación externa.

Estas fuentes están constituidas por todos los radioisótopos utilizados en estudios morfológicos y funcionales de Medicina Nuclear.

Categorías de la exposición médica

- **Radiodiagnóstico:** El diagnóstico a partir de radiaciones se lleva a cabo, generalmente, por medio de equipos generadores de rayos X que se conectan a la red eléctrica y son capaces de suministrar, durante un tiempo determinado de antemano y con la intensidad prefijada, el haz de radiación que se requiere para cada prueba.



El paciente se sitúa frente al haz de radiación y actúa como material absorbente, lo que permite que el haz residual, después de pasar a través del paciente, contenga información sobre el espesor y la densidad de los tejidos que ha atravesado. En consecuencia, podemos definir al radiodiagnóstico como la obtención de imágenes mediante la medida de la atenuación que sufre un haz de fotones de rayos X al atravesar las estructuras corporales.

Esta información puede hacerse visible mediante su impresión en una película, la clásica radiografía, o a través de una pantalla.

Las instalaciones que utilizan estos equipos se denominan instalaciones de radiodiagnóstico y el personal que opera los equipos o dirige el funcionamiento de la instalación debe disponer de una acreditación por la que se reconoce su formación en protección radiológica.

- **Radioterapia:**

La radioterapia es la especialidad médica que utiliza la administración de radiaciones ionizantes para la destrucción de tejidos malignos o tumores. Las radiaciones ionizantes empleadas en radioterapia comprenden tanto los rayos X, como las radiaciones emanadas de elementos radiactivos o de equipos productores de radiaciones, como los aceleradores.

Los tejidos tumorales están formados generalmente por células con alto ritmo de crecimiento, por lo que su exposición a las radiaciones produce su destrucción, mientras que los tejidos sanos circundantes formados por células con un ritmo de crecimiento más lento, sólo son afectados mínimamente.

En el tratamiento de los tumores malignos, la radioterapia puede utilizarse sola o asociada a otros medios terapéuticos como la cirugía o la quimioterapia. La decisión del

tipo de tratamiento se toma en función de una serie de factores como la radiosensibilidad del tumor, su localización y el volumen tumoral, el grado de evolución de la enfermedad, el estado general del paciente, la oportunidad de la irradiación y modalidad técnica empleada. Una vez decidida esta forma de tratamiento, se planifica el tipo de irradiación: cálculo de la dosis total, forma de administración y posible fraccionamiento, con intervalos de descanso que puedan facilitar la reducción progresiva del tumor. Además de con fines curativos, la radioterapia puede realizarse como terapéutica paliativa en casos de pacientes con tumores muy avanzados, en los cuales la masa tumoral produce obstrucciones o compresiones de órganos que empeoran la calidad de vida del paciente. En estos casos, la administración de radiación disminuye el volumen tumoral y alivia los síntomas del paciente.

Las modalidades de radioterapia reciben diferentes nombres en función de las características de la radiación y del equipo que las genera.

✓ **Teleterapia** ("tele" significa "lejos"). Es la forma de radioterapia que utiliza la radiación procedente de un equipo generador situado a cierta distancia de la zona a irradiar.

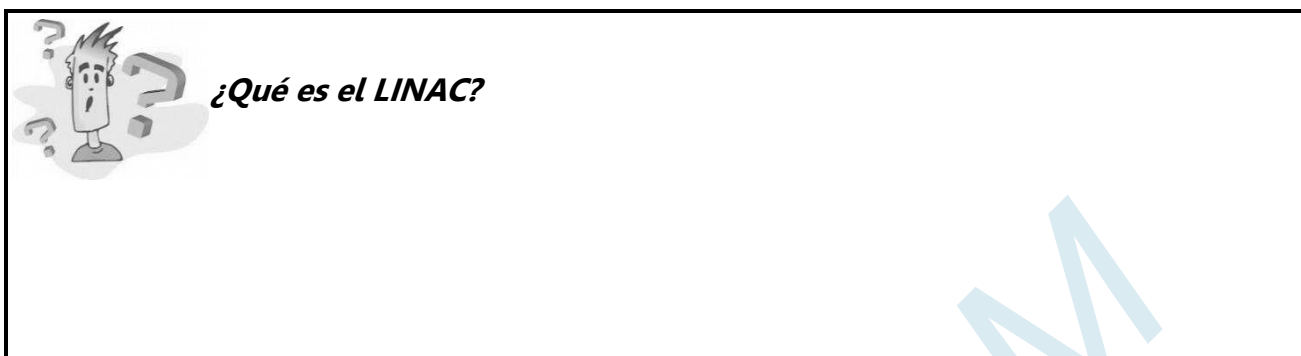
La radioterapia convencional o de ortovoltaje, de escasa utilización, usa equipos de rayos X de energías bajas o medias. Los equipos de alta energía o megavoltaje, más usados actualmente, son los irradiadores de cobalto y los aceleradores lineales.



Los irradiadores de cobalto contienen una fuente de cobalto-60 que se sitúa en una carcasa blindada que impide la salida de radiación salvo por un pequeño orificio diafragmado para proporcionar radiación dirigida. Produce radiación de alta energía (1,2 MeV) capaz de radiar tumores voluminosos y de localización profunda.

Los aceleradores de partículas son dispositivos que utilizan campos electromagnéticos para acelerar partículas cargadas a altas velocidades y así hacerlas colisionar con otras partículas. Los aceleradores usados en teleterapia producen haces de electrones con una Energía de 6 a 30 MeV . Estos equipos permiten elegir la energía adecuada según el tipo de tumor o profundidad. Los tiempos de exposición son cortos. Tienen alto coste inicial y de mantenimiento. Existen algunos tipos de equipos muy sofisticados para aplicar técnicas especiales de radioterapia en lugares donde la cirugía tiene difícil acceso. Las técnicas se denominan radiocirugías y se aplican con aceleradores especiales o con equipos emisores de radiación con múltiples pastillas de cobalto-60 (*gamma-knife*). Los

Aceleradores, al igual que cualquier otro tipo de radioterapia, tienen gran número de dispositivos de seguridad, que son comprobados periódicamente por el personal del centro hospitalario.

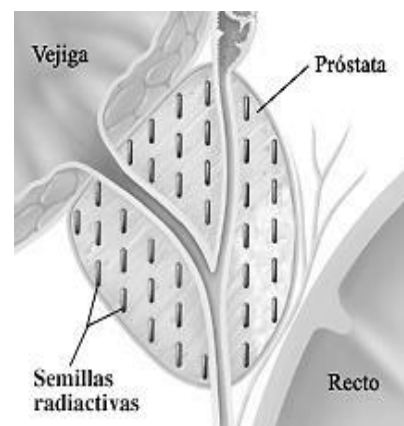


✓ **Braquiterapia** (braqui: corto, próximo) es la modalidad de radioterapia que utiliza fuentes cerradas o selladas de material radiactivo que se colocan en contacto con el tumor o se introducen en el seno del mismo.

Las fuentes de braquiterapia son generalmente selladas, de manera que el material radiactivo se encuentra totalmente encerrado dentro de una cápsula protectora. Esta cápsula está diseñada para evitar fugas o escapes de fuentes radiactivas y para proporcionar rigidez a dichas fuentes. Además, en el caso de las fuentes emisoras de fotones la cápsula puede servir para absorber la radiación alfa y beta producida durante el decaimiento de la fuente. Un pequeño gránulo de braquiterapia (del tamaño aproximadamente de un grano de arroz) de un radionúclido como el yodo 125 (^{125}I) va en cápsula de titanio.

Su mayor ventaja es la de concentrar la máxima dosis de radiación en el tejido tumoral con escasa irradiación del tejido sano situado alrededor, basándose en el hecho de que la dosis recibida en la proximidad de una fuente decrece muy rápidamente al alejarse de ella.

Se denomina *Braquiterapia superficial* cuando las placas de material radiactivo se colocan sobre la zona tumoral; *endocavitaria* cuando el material radiactivo se introduce en la cavidad del organismo (vagina y cuello de útero); *intersticial* cuando se realiza la colocación quirúrgica de agujas, alambres o semillas radiactivas en el seno del propio tumor (mama, cuello, próstata), e *intraluminal* cuando la radiación se aplica por dentro de la luz de alguno de los conductos orgánicos (bronquio, esófago, vascular).



Aunque hace años el material radiactivo más utilizado en Braquiterapia era el *radio*²²⁶, actualmente ha sido sustituido por otros de características más idóneas y con menos riesgo radiológico como el *estroncio*⁹⁰, *cesio*¹³⁷, *cobalto*⁶⁰ e *iridio*¹⁹².

En estas modalidades de tratamiento es necesaria la hospitalización en unidades especiales siguiendo normas de radioprotección similares a las de pacientes ingresados en unidades de medicina nuclear para el tratamiento radiometabólico. El paciente es dado de alta una vez que se retira la fuente radiactiva.

Como uno de los problemas de la Braquiterapia, también llamada *curieterapia*, es la posible exposición innecesaria del paciente y del personal sanitario que prepara, transporta y manipula las fuentes radiactivas, se han ideado una serie de métodos como la utilización de fuentes simuladas no radiactivas para el cálculo de su posición correcta en el paciente, el uso de mandos de control a distancia de las fuentes radiactivas o la retirada automática de las mismas hasta un lugar protegido en el caso de que surja alguna incidencia.

3. Uso de Radioisótopos en Medicina Nuclear: Aplicación de radionucleidos y radioisótopos en forma de fuentes no encapsuladas. Las utilidades de estos radioisótopos son:

Aplicaciones Diagnósticas: aprovechan la posibilidad de detectar isótopos radiactivos introducidos en el organismo.

- **Estudios morfológicos:** comúnmente llamados Gammagrafías; en estos se utilizan el Tecnecio ⁹⁹, galio⁶⁷, Talio²⁰¹ e Yodo¹²³, en forma pura o como marcadores de moléculas.
- **Estudios funcionales:** utilizados para la motilidad del tracto digestivo, la ventilación-perfusión pulmonar, absorción digestiva, supervivencia de glóbulos rojos.
- **Estudios "In Vitro"** (Radioinmunoanálisis): permiten la detección y cuantificación de numerosas sustancias que están en cantidades muy pequeñas en sangre u orina y que son muy difíciles de detectar por medios analíticos convencionales. Se utilizan en clínica e investigación, para determinaciones de hormonas y fármacos, reacciones Ag-Ac, equilibrio hidroelectrico, etc. Los elementos más usados son el Yodo¹²⁵, Cromo⁵¹, Hidrógeno³ y Carbono¹⁴.

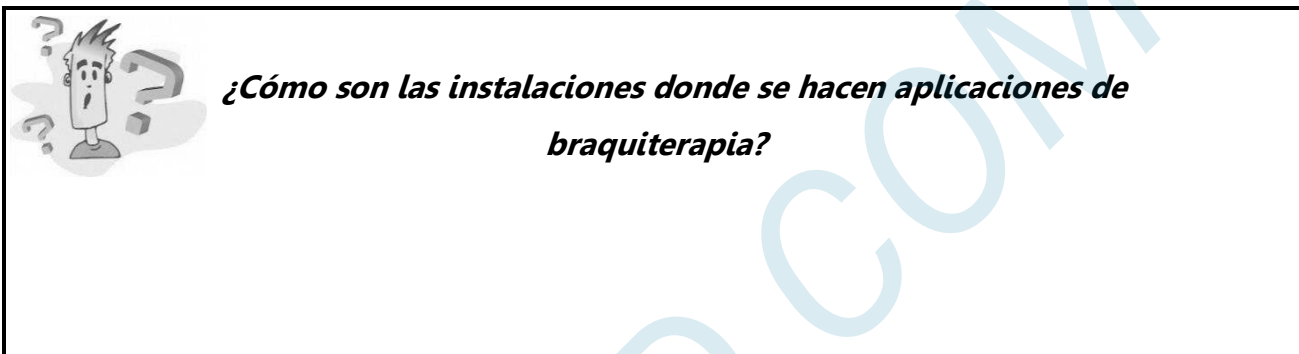
Aplicaciones Terapéuticas

- **Radioterapia Metabólica:** Se basa en la acumulación de una sustancia radiactiva no encapsulada en el órgano o región a tratar, con el fin de que se deposite la dosis de

radiación. El ejemplo más común es el tratamiento del hipertiroidismo y las neoplasias tiroideas con Yodo¹³¹.

Consiste en administrar una dosis relativamente grande de sustancia radiactiva en forma líquida, por medio de inyección o ingestión para que se acumule selectivamente en el órgano o lesión a tratar, donde actúa por medio de la radiación emitida, sobre los tejidos en contacto próximo con ella.

Se emplean generalmente emisores beta que presentan escasa penetración, también se han desarrollado algunos radiofármacos emisores alfa.



RIESGOS QUE PRESENTAN LAS RADIACIONES

Riesgo es una palabra antigua y de uso común en muchas lenguas. En su uso corriente denota incertidumbre asociada a un evento futuro o a un evento supuesto. Una descripción con sentido común del término **riesgo** debería incluir las circunstancias que amenacen con disminuir la seguridad, el bienestar social, la salud, el bienestar y la libertad de una entidad determinada. Esta descripción no apunta a definiciones técnicas o específicas del riesgo, pero ejemplifica el rango de aplicaciones que posee ese término y aclara que el concepto de riesgo está estrechamente ligado a valores humanos significativos. Un punto de vista interesante en el debate y en la investigación sobre el riesgo está, por lo tanto, relacionado con la forma en que el concepto de riesgo es utilizado e interpretado.

El hombre está expuesto a diversos tipos de radiaciones, esta exposición puede ser un acto voluntario o involuntario, veamos los riesgos que implican dichas fuentes de radiación:

◆ **Riesgo de Irradiación:** Hay irradiación cuando una parte o la totalidad del organismo recibe la radiación emitida por una fuente radiactiva.

Existe **irradiación externa** cuando la fuente de exposición se encuentra localizada exteriormente al organismo. Un individuo irradiado por una fuente radiactiva exterior a él sufre en sus tejidos los efectos biológicos de la radiación mientras está próximo a la fuente, pero bastará que se aleje suficientemente de ella para que cese la irradiación. La

irradiación interna ocurre cuando la exposición deriva de fuentes interiores al organismo. Y permanece hasta que la fuente sea eliminada del organismo por decaimiento físico o eliminación biológica.

La **irradiación total** es la suma de ambas exposiciones.

♦ **Riesgo de Contaminación:** Existe contaminación cuando una sustancia radiactiva no se halla confinada adecuadamente y puede esparcirse en las superficies, objetos o personas. Un individuo contaminado continuará siendo irradiado en tanto no cese la contaminación, y él mismo puede actuar como fuente de contaminación o irradiación de otras personas.

Hay **contaminación externa** cuando la sustancia radiactiva se encuentra depositada sobre la superficie corporal (piel, cabellos, uñas) y debe ser removida preservando la integridad de la misma a fin de evitar la incorporación del contaminante. La contaminación externa se elimina fácilmente mediante el lavado de la superficie contaminada.

Existe **contaminación interna** cuando la sustancia ha sido incorporada al organismo, ya sea por vía inhalatoria, digestiva o percutánea, y también a través de la piel, principalmente por heridas.

Los efectos de este tipo de contaminación dependerán del tropismo de los elementos radiactivos, que los hace depositarse en unos u otros órganos en función de las características metabólicas de los mismos. La permanencia de la actuación de los radionucleidos depende, por una parte, de la capacidad de eliminación de esa sustancia por el organismo a través de las vías naturales, y, por otro, del período de semidesintegración del isótopo en cuestión.

Irradiación: estar expuesto (cerca) a una fuente que emite radiación.



Contaminación: presencia de sustancias radiactivas en lugares no deseados (ropa, piel, mesas de laboratorio, etc.)



OTROS USOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

En el campo industrial las aplicaciones de las radiaciones son numerosas. La operación puede apoyarse en el efecto de la radiación sobre la materia, en el efecto de la materia sobre la radiación, o en el uso de pequeñas actividades de material radiactivo como trazador. Ejemplos del primer caso, en el que las características de la materia se alteran con la radiación, son:

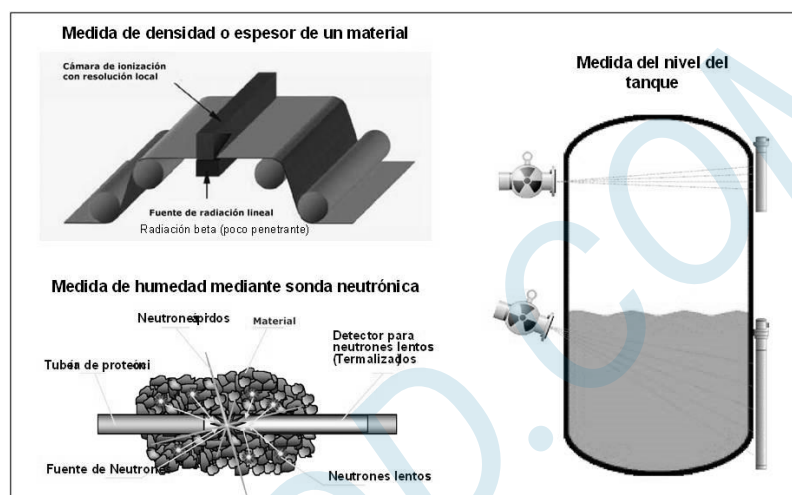
- La señalización luminosa en lugares de alta concentración de personas, como en salidas de emergencia de locales públicos, aeropuertos, etc. En este caso, la radiación que emite la sustancia radiactiva produce la activación de una sustancia fosforescente y se emite luz, en forma continua, sin suministro eléctrico. Esta luz sólo se percibe normalmente en la oscuridad.
- Esterilización de material quirúrgico. En estas instalaciones se dispone de fuentes radiactivas de alta actividad, por lo cual están clasificadas como instalaciones de primera categoría, debido a que la destrucción total de posibles microorganismos presentes requiere el suministro de dosis de radiación muy elevadas.
- La obtención de plásticos con cualidades muy mejoradas, en cuanto a la durabilidad o resistencia a agentes externos; recubrimientos de gran poder aislante, para cables eléctricos; revestimientos amortiguadores de choques, etc.
- El análisis cualitativo o cuantitativo de muestras.

En cuanto a las aplicaciones técnicas que se benefician de los efectos de la materia sobre la radiación destacan:

- El control de calidad en procesos industriales para la fabricación de diversos componentes y equipos, como por ejemplo en los neumáticos o piezas de aviones. Inspección de soldaduras o de estructuras metálicas. Este método de ensayo no destructivo constituye uno de los usos más frecuentes. Permite detectar fisuras, poros, pequeños defectos o fallos de los objetos irradiados por inspección visual, a través de una placa radiográfica o de un monitor de televisión.
- La inspección de bultos para detectar explosivos, armas o drogas. Estos sistemas están homologados por el Ministerio de Industria y Energía.
- La medida de partículas en suspensión en el aire para hacer controles de contaminación atmosférica.
- Las medidas de nivel, de llenado de envases, densidad o humedad. Para éstas, se requiere acoplar un componente electrónico, al haz de radiación modificado por la presencia del objeto, cuyo nivel de llenado, espesor, densidad o humedad interesa, el

cual mide el parámetro solicitado y permite, incluso, la instalación de una alarma cuando este supera un umbral, o la puesta en marcha de acciones correctoras.

La radiación al interactuar con la materia experimenta fenómenos de absorción y dispersión que suponen la pérdida total o parcial de su energía. La energía que se pierde es proporcional al espesor y la densidad del material que atraviesan. Así pues, la medida de la energía (radiación) que llega al detector tras atravesar el material, nos permite conocer algunas características de dicho material como la densidad, la humedad o el espesor.



APLICACIONES AGROALIMENTARIAS

A lo largo de los siglos la humanidad ha ensayado todas las formas posibles de aumentar la cantidad y la calidad de su producción de alimentos, imprescindible para su subsistencia. La escasez de alimentos ha sido siempre un factor limitante al crecimiento de la población y ha sido la causa de la extinción de prósperas civilizaciones.

La población mundial a lo largo de los últimos siglos apenas había crecido debido a epidemias y crisis de hambre generalizadas, manteniéndose en unos 1.000 millones de habitantes. Según estimaciones del Banco Mundial en el último siglo la población mundial ha aumentado a 5.800 millones. Este aumento, exponencial en los últimos años, ha sido posible gracias a la química que ha permitido aumentar, con el empleo de fertilizantes y plaguicidas, el rendimiento de las cosechas, lo que ha hecho posible el aumento de la provisión necesaria de alimentos para mantener esa creciente población.

Las **radiaciones ionizantes** se pueden utilizar para **mejorar la producción de alimentos**, tanto agrícolas como pecuarios.

Pero además, las radiaciones ionizantes también pueden utilizarse para conservar los alimentos, ya que su irradiación permite eliminar microorganismos patógenos, inhibir el crecimiento de brotes en tubérculos o retrasar la maduración en frutas.

MEJORAS EN LA PRODUCCIÓN PECUARIA

Para entender las aplicaciones de las radiaciones ionizantes o las sustancias radiactivas en la producción pecuaria, primero es necesario saber qué son los trazadores radiactivos.

Una propiedad de los isótopos radiactivos es que se comportan exactamente igual que sus homólogos no radiactivos. Lo que esto implica es que esos átomos se incorporan en las moléculas sin producir ningún tipo de cambio (estructural o funcional) en ellas. Por ejemplo, el isótopo radiactivo del hidrógeno, el tritio (H^3), se incorporará en las moléculas de agua exactamente igual que si fuera un átomo de hidrógeno (H^1), pero con la ventaja de que al ser radiactivo, le podemos seguir la pista.

En estos casos se habla de **trazadores radiactivos**. Cuando estos isótopos radiactivos se administran a animales o a plantas, se puede seguir su movimiento a través del organismo usando un contador Geiger u otro detector. Una gran ventaja es que incluso cantidades muy pequeñas de material radiactivo pueden ser detectadas con bastante facilidad.

Gracias a los isótopos radiactivos, utilizándolos como trazadores en trabajos de investigación de asimilación de nutrientes en alimentación de animales, se ha conseguido mejorar el rendimiento en la producción de la carne animal, leche, lana, etc. en muchos países.

Uno de los éxitos más llamativos de esta aplicación ha ocurrido en Indonesia con el tratamiento de los búfalos. Se necesitaban mejorar los métodos de alimentación de estos animales, fundamentales en la economía de este país, en el que se emplea, no sólo como fuente de alimento, sino también como fuerza motriz para arar la tierra. Después de estudiar el metabolismo digestivo de estos animales con isótopos radiactivos los científicos desarrollaron un bloque multi-nutritivo que permitió un aumento de peso en los animales de 3 kilos por semana, y permitió también rebajar significativamente el número de kilos de pasto que estos animales necesitaban digerir para aumentar 1 kilo de peso (de 35 kilos se redujo a 10 kilos).

MEJORAS EN LOS CULTIVOS

Una de las características de las radiaciones ionizantes, conocidas desde hace muchos años, es su capacidad para producir mutaciones (alteraciones en el ADN). Al inducir mutaciones en las semillas con irradiación, lo que se pretende es producir cambios genéticos que resulten beneficiosos para el cultivo de las plantas, como por ejemplo una mayor resistencia a alguna enfermedad específica, mejor adaptación a ciertas condiciones ambientales, o un mayor rendimiento en las cosechas.

Hay que tener en cuenta que no es posible controlar que todas las mutaciones inducidas por la radiación conlleven una mejora en la planta expuesta. Esto hace que los experimentos en que se inducen mutaciones en semillas sean muy largos. Miles de semillas han de ser irradiadas (con rayos gamma o neutrones), posteriormente se plantan y una vez que crecen se observa cuáles muestran las características deseadas.

Actualmente, las mejores variedades de **cebada** que se cultivan en Europa, el **trigo** cultivado en Italia y el **arroz** cultivado en California, se han obtenido mediante esta técnica.

Hoy en día existen más de 1.500 variedades mejoradas de cultivos, de las cuales el 90% se han conseguido gracias a la radiación ionizante. Entre los éxitos que han reportado mayores beneficios económicos, se puede citar un mutante de algodón que se consiguió en 1983 y se aplica en Pakistán, y ha logrado que se duplique la producción de las cosechas. Existe también un mutante de arroz conseguido en China en 1985 que madura en sólo veinticinco días y tiene mayor cantidad de proteína que las variedades tradicionales. Se ha producido también una nueva variedad del sorgo, planta que ha mejorado mucho, ya que mediante esta técnica se ha conseguido que sea resistente a las plagas. En Europa sólo se emplean cebada, maíz y trigo modificados mediante esta técnica.

Un dato curioso: sólo en producción de cebada para la fabricación de cerveza se ha descrito un aumento en la producción de 6 millones de toneladas empleando la misma superficie de tierra cultivada.

En agricultura también se usan isótopos radiactivos como trazadores. Gracias a moléculas marcadas con isótopos radiactivos de nitrógeno, fósforo y potasio, se ha podido seguir el mecanismo de asimilación de estos nutrientes, lo que ha permitido una utilización más eficaz de los fertilizantes. Asimismo, por ejemplo, con CO₂ marcado con C-14 o el fosfato marcado con P-32, se ha conseguido seguir las rutas de la fotosíntesis, y comprender mejor la importancia de esta función en las plantas.

Pero no basta con mejorar la producción, también hay que conservar los alimentos

Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) el 25% de los alimentos producidos en el mundo se pierde al no poderse conservar adecuadamente. Aunque la tecnología de alimentos ha avanzado mucho, los procesos técnicos clásicos como la congelación, pasterización, secado, etc., han demostrado ser insuficientes para paliar estas pérdidas.

Además, la OMS (Organización Mundial de la Salud) destaca que las enfermedades de origen alimentario están aumentando de forma alarmante por el consumo de alimentos en mal estado.

Se estima que el 70% de los 3,2 millones de defunciones de niños menores de 5 años se debe a enfermedades diarreicas producidas por consumir alimentos en mal estado.

IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS

En el mundo Occidental, el primer uso comercial de la irradiación de alimentos tuvo lugar en Stuttgart (Alemania) en 1957, donde un comerciante de especias comenzó a irradiar sus productos a fin de asegurar su calidad sanitaria. La instalación, no duró mucho, ya que fue clausurada dos años más tarde al igual que otras plantas de irradiación con Co-60 que habían comenzado a proliferar por aquel entonces. La razón de estas clausuras fue la alerta de la FDA de Estados Unidos contra la irradiación de alimentos, que se publicó en 1958, basándose en unos estudios, que no han podido ser refrendados, y que pretendían demostrar que esta tecnología producía en los alimentos productos cancerígenos. La alerta de la FDA supuso para esta tecnología un freno de más de 20 años y una alarma que, no por infundada, dejó menos huella. La primera reunión internacional para estudiar de nuevo este tema tuvo lugar en 1961 en Bruselas, convocada por la FAO conjuntamente con la OMS y el OIEA (Organismo Internacional de la Energía Atómica). En esa reunión, a la que asistieron representantes de 28 países, se decidió formar un Comité de trabajo con los más prestigiosos expertos en el tema, para estudiar a fondo la inocuidad de la irradiación de los alimentos.

En 1970 esta organización, en colaboración con la OCDE (*Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos*), planea un proyecto de evaluación de alimentos irradiados, con estudios que se prolongaron a lo largo de 10 años, al final de los cuales se pudo demostrar que en ningún alimento irradiado de los estudiados se habían encontrado residuos tóxicos o carcinogénicos.

En octubre de 1980 el Comité de la OCDE, basándose en los resultados de los estudios científicos existentes, concluye que: *"La irradiación de cualquier alimento con una dosis inferior a 10 kGy no presenta ningún peligro toxicológico y los estudios realizados son tan evidentes que no son necesarias más pruebas"*

La Comunidad Europea (CE) autoriza la comercialización y el empleo de alimentos irradiados en 1999. Dentro de la CE, se utiliza esta técnica y se vende algún tipo de alimentos así tratados en todos los países miembros, excepto España y Austria. Alemania y Suecia no irradian tampoco alimentos pero aprobaron ya en 1998 la importación y

venta de especias irradiadas. Francia, Holanda y Bélgica son los países de la CE donde se tratan mayor cantidad de alimentos con esta técnica.

¿Cómo puede la radiación ionizante mejorar la conservación de los alimentos?

La exposición a radiación ionizante puede utilizarse con distintos fines en la conservación de alimentos:

- Impedir que aparezcan brotes, por ejemplo en las patatas, cebollas o ajos. Las patatas pueden conservarse perfectamente por períodos superiores a 6 meses, las cebollas (2-3 meses) y los ajos (3-4 meses) sin que aparezcan raíces.
- Retrasar la maduración de algunas frutas y hortalizas, aumentando así el tiempo de conservación. La magnitud de estas alteraciones depende de la dosis y del estado en que se encuentre el alimento cuando se irradia. La FAO ha hecho un llamamiento a los gobiernos *"para que consideren la irradiación como la alternativa óptima para evitar las pérdidas de los alimentos durante el almacenamiento cuarentenario"*. Este almacenamiento "en cuarentena" es obligatorio para frutas y verduras importadas de otros países.
- Eliminar microorganismos, aumentando así el período de perfecta conservación de los alimentos. Los microorganismos, como por ejemplo los mohos que tantas veces vemos en fresas o el pan de molde, deterioran el producto cambiando sabores y olores,. Al destruir estos mohos, el tiempo de conservación de muchas frutas y verduras puede ser de al menos el doble que las no irradiadas.

La dosis de radiación que es necesaria administrar depende del organismo que se quiera destruir. En general, cuanto más complejo y evolucionado es un ser vivo, menor es la dosis necesaria para destruirlos. Para eliminar insectos bastan dosis menores de 1KGy, los mohos necesitan alrededor de 1-2KGy, los parásitos entre 2-5KGy, y las bacterias entre 3-9KGy.

¿Qué tipo de radiación se usa para tratar los alimentos?

Las fuentes de radiaciones ionizantes autorizadas para tratar los alimentos son:

- **Rayos Gamma** procedentes de radionucleidos Co-60 ó Cs-137
- **Rayos X** con energía no superior a 5MeV
- **Electrones acelerados** con energía no superior a 10Me

Para irradiar alimentos se emplean comercialmente plantas de Cobalto-60 (aproximadamente el 90% de las instalaciones) o aceleradores de electrones (el 10% restante). El Cobalto-60 emite radiaciones gamma, siendo su penetración superior a la de los electrones. Los aceleradores de electrones son máquinas que pueden desconectarse

cuando se desea interrumpir el uso; se emplean principalmente para irradiar grandes volúmenes de alimentos que puedan circular frente al haz de electrones sobre cintas móviles, en espesores no mayores de 5-10 centímetros

Una planta de Cobalto-60 consta básicamente de una sala de irradiación, una piscina de almacenamiento, un sistema transportador, una consola de control, y depósitos que separan el material irradiado del sin irradiar. La sala de irradiación es una cámara central de paredes de hormigón gruesas y puertas diseñadas especialmente para impedir la liberación de radiactividad. Los dispositivos de interbloqueo y alarma impiden que la fuente de radiación se eleve mientras las puertas no estén completamente cerradas. La piscina de almacenamiento es el lugar donde se encuentran las fuentes radiactivas de Cobalto-60 mientras no se está tratando nada. El agua actúa de blindaje contra la energía radiactiva, protegiendo a los operadores cuando tienen que entrar en la sala. El sistema transportador sirve para desplazar automáticamente los alimentos dentro y fuera de la cámara de irradiación. Los productos pasan por el campo de irradiación dentro de la cámara a una velocidad controlada con precisión para absorber la cantidad de energía necesaria para el tratamiento. Después del tratamiento, pueden manipularse inmediatamente. Desde la consola de control, fuera de la cámara de irradiación, operadores capacitados controlan electrónicamente la fuente de irradiación y el tratamiento de los productos. Todas las instalaciones de irradiación deben tener una licencia, y son inspeccionadas periódicamente por el organismo gubernamental correspondiente. La seguridad de los trabajadores depende además de procedimientos de operación estrictos y de una capacitación adecuada.

¿Cómo identificar un alimento irradiado?

En el envase o embalaje de productos alimenticios tratados con radiaciones ionizantes o que contengan ingredientes sometidos a este tratamiento, así como en los documentos que los acompañan, deberá figurar la indicación «irradiado», o «tratado con radiación ionizante».



Los productos destinados a la venta al consumidor final deben cumplir los requisitos en materia de información establecidos en la Directiva 79/112/CEE del Consejo sobre etiquetado, presentación y publicidad de los productos alimenticios. Los que no estén destinados a la venta al consumidor final deben llevar información que indique que se han sometido a un tratamiento con radiaciones ionizantes, así como el nombre y la dirección de la instalación donde se ha efectuado el tratamiento.

INVESTIGACION

La capacidad de detectar los materiales radiactivos por escasa que sea su presencia en la materia, o de modificar una estructura tiene múltiples aplicaciones en la investigación. Es bien conocida la determinación de la edad de restos orgánicos a partir del contenido en C^{14} . El C^{14} se produce continuamente en la atmósfera debido a que los rayos cósmicos reaccionan con el nitrógeno, transformándolo en carbono¹⁴. Las plantas absorben el carbono radiactivo. Tras la muerte de la planta, cesa la absorción y el carbono¹⁴ incorporado se desintegra según su periodo, que es de 5.730 años. Esto significa que la radiactividad debida al carbono-14 existente en un cuerpo orgánico disminuye a la mitad cada 5.370 años.

Esa cantidad de carbono-14 puede por lo tanto utilizarse para determinar la edad de dicho cuerpo. El método se utiliza generalmente con objetos que tienen 5.000 a 20.000 años de edad. Los materiales sobre los que se pueden realizar mediciones son la madera, el hueso, los textiles, el marfil e incluso el hierro viejo.

Otro método para averiguar la edad de las rocas que contienen potasio se basa en la desintegración del potasio radiactivo que se encuentra en la naturaleza, desintegración que se produce con un periodo de 1.300 millones de años. A medida que ese elemento se desintegra se produce el gas Ar^{40} que queda aprisionado en la roca. Por lo tanto, liberando y midiendo este gas, puede determinarse la edad de la roca.

En estas experiencias, tanto el C^{14} como el Ar^{40} , se encuentran en las muestras objeto de la investigación, hay otras ocasiones en las que se requiere el marcaje, con un material radiactivo, de un compuesto que mantenga una afinidad, o relación metabólica similar con la molécula en estudio y tal que genere una señal (emisión de radiaciones) detectable con las técnicas existentes. En el terreno de la biomedicina estas técnicas son muy frecuentes y se utilizan en el estudio de proteínas, hormonas, enzimas, etc., siendo hoy imposible imaginar el desarrollo de la bioquímica sin la existencia y amplia difusión del uso de materiales radiactivos. Los más utilizados para estas experiencias son: Carbono ¹⁴, Tritio, Iodo ¹²⁵ y Fósforo ³²

Por último, cabe destacar la utilización de radiaciones ionizantes en la prospección de minerales, localización de recursos hídricos, movimiento de aguas subterráneas y utilización racional de abonos, entre otros.

POLIMERIZACIÓN

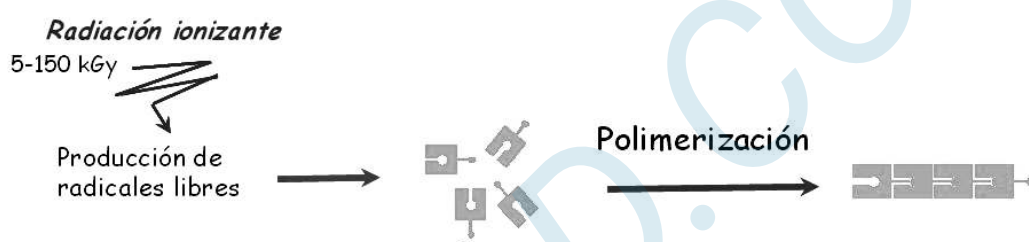
Los polímeros son compuestos orgánicos cuya estructura está formada por la repetición de pequeñas unidades (monómeros). La reacción química por la que se

producen los polímeros se conoce con el nombre de polimerización. Cada polímero típico consta de mil o más monómeros, que son como los ladrillos de un edificio.

Hay muchos polímeros naturales en el mundo, que van desde el ADN de nuestro cuerpo a la goma de mascar. Los plásticos forman uno de los grupos más comunes de polímeros hechos por el hombre, pero también son polímeros la celulosa, el algodón y la lana.

Estos materiales sintéticos (los plásticos) entraron por primera vez en escena a mediados del siglo XIX, y se encuentran hoy en una amplia gama de aplicaciones.

La iniciación de una polimerización puede ser inducida por calor, por agentes químicos o por radiación (ultravioleta o radiación ionizante). La iniciación por calor o radiación se produce mediante un mecanismo de reacción vía radicales libres.



Con la polimerización se consiguen materiales con mayor resistencia al calor y a la oxidación, con mejores propiedades de corte y con mayor estabilidad mecánica.

Los neumáticos, equipos electrónicos, tuberías plásticas (agua) o plásticos aislantes, son sólo algunos ejemplos de materiales que se obtienen con esta tecnología.

ESTERILIZACIÓN

Esta aplicación se basa en la acción bactericida de la radiación, es decir su capacidad para matar microorganismos patógenos.

La radiación ionizante permite esterilizar materiales tan diversos como alimentos, sangre, materiales plásticos.

Las fuentes de radiación que pueden utilizarse en esta aplicación son los rayos gamma y los aceleradores de partículas. Hay más de 650 aceleradores y 150 plantas de cobalto en el mundo

SUMINISTROS MÉDICOS, BIOLÓGICOS Y FARMACEÚTICOS

- Jeringuillas, agujas, suturas, guantes, tubos y catéteres, batas, material y campos quirúrgicos

- Contenedores, placas, tubos, pipetas, filtros, botellas.

- Envoltorios, dosificadores, tubos y contenedores, talcos

PRODUCTOS FARMACEÚTICOS

- Colirios
- Productos para quemaduras
- Vitaminas
- Agua

COSMÉTICOS Y PRODUCTOS SANITARIOS

- Cremas, mascarillas, maquillajes
- Tetinas de bebés, toallitas sanitarias, envases

ARQUEOLOGIA

El estudio de las piezas arqueológicas, históricas y artísticas cuenta con una serie de técnicas y metodologías para permitir obtener información sobre su origen. Así, es posible determinar los recursos y técnicas que usaron en su fabricación, su autenticidad y también cuál es el estado de deterioro de un material y cómo restaurarlo. El acelerador de partículas es una herramienta que permite analizar los materiales arqueológicos tanto históricos como artísticos a través de ensayos no destructivos, muy sensibles y que proporcionan la mayor cantidad de información posible.

Un acelerador de partículas es un instrumento que se utiliza para aumentar la energía de las partículas atómicas cargadas eléctricamente. Éstas pueden ser, por ejemplo, electrones, que tienen carga negativa o protones, que tienen carga positiva, pero no neutrones, debido a que éstos no presentan carga. Estas partículas se utilizan como proyectiles que impactan a otros átomos, rompen su núcleo e interactúan con las distintas partículas que lo componen, y producen transformaciones que hacen posible estudiar su naturaleza y comportamiento. Con los aceleradores es posible estudiar objetos de piedra y obsidiana, conchas marinas, huesos y dientes, metales, cerámicas y vidrios, piedras preciosas y semipreciosas, pigmentos, papel y la tinta de manuscritos. Básicamente el acelerador de partículas sirve para producir un rayo o haz de partículas cargadas positivamente. Al incidir en un material, el haz provoca como respuesta la emisión de radiación característica de los átomos que componen el material. Cuando se capta dicha radiación en detectores apropiados (existen detectores específicos para cada tipo de radiación), se obtiene información que permite determinar la identidad de los elementos que componen el material y su proporción en éste.

Existen varias técnicas para realizar los estudios en arte y arqueología, pero la más apropiada y versátil es la técnica PIXE, cuyas siglas significan *Emisión de Rayos X Inducida por Partículas*. En este caso la respuesta a la irradiación que se capta son rayos X característicos de los átomos del material. La técnica PIXE es muy

sensible y permite determinar hasta algunos átomos de un elemento entre un millón de átomos de otros elementos.

Los materiales metálicos son los más apropiados para el análisis mediante haces de partículas, sobre todo los metales preciosos porque no se deterioran tan fácilmente como el bronce o el hierro. El estudio de metales antiguos permite inferir cómo trabajaban los orfebres en el pasado.

Se han estudiado artefactos de todo el mundo y de todas las épocas; por ejemplo, un análisis de un pendiente iraní de oro del siglo IV antes de nuestra era, reveló el uso de tres métodos distintos de soldadura a diferentes temperaturas, así como su secuencia de fabricación. A partir de los resultados obtenidos se desarrolló un tipo de soldadura moderna de baja temperatura de fusión. Éste es un claro ejemplo del estudio de materiales y de técnicas antiguas, así como de su rescate y reconstitución para el desarrollo de tecnologías actuales.

Investigue y mencione aplicaciones de las radiaciones no ionizantes

