



INSTITUTO DE  
FORMACIÓN  
SUPERIOR

# APUNTES DE CATEDRA

FÍSICA BIOLÓGICA

## PROGRAMA DE LA MATERIA

### Unidad Nº 1: Conceptos introductorios y Materia

Introducción a la Física Biológica. Descripción y categorización de conceptos básicos en física. Materia y energía. Concepto y propiedades. Tipos de energía. Estructura atómica. Modelos atómicos. Descripción y diferencias. Nomenclatura atómica. Estructura electrónica. Átomo de Bohr.

### Unidad Nº 2: Energía e Introducción a las Radiaciones

Energía electromagnética. Fotones. Ondas electromagnéticas. Propiedades y elementos de las ondas electromagnéticas (amplitud, velocidad, frecuencia y longitud de onda). Espectro. Definición, formación, medida del espectro y luz visible. Radiofrecuencia. Dualidad onda-partícula. Modelo ondulatorio y modelo molecular. Reflexión y Refracción de la luz. Ley del universo al cuadrado. Historia de las radiaciones. Fuentes de radiación naturales: radiación cósmica, terrestre y otras fuentes. Tipos de radiaciones naturales y penetración.

### Unidad Nº 3: Tipos de radiaciones, sus características e interacciones

Radiación por partículas. Radiación electromagnética. Radiación ionizante y no ionizante. Radiaciones ionizantes: Alfa, Beta, X y Gamma. Interacción de la radiación con la materia. Fluorescencia. Fosforescencia. Concepto y diferencias. Radiactividad. Isótopos y Radiosótopos. Semivida radiactiva. Familias radiactivas. Desintegración. Concepto de Rayos X. Efectos biológicos de la radiación X.

**DESARROLLO DEL PROGRAMA**

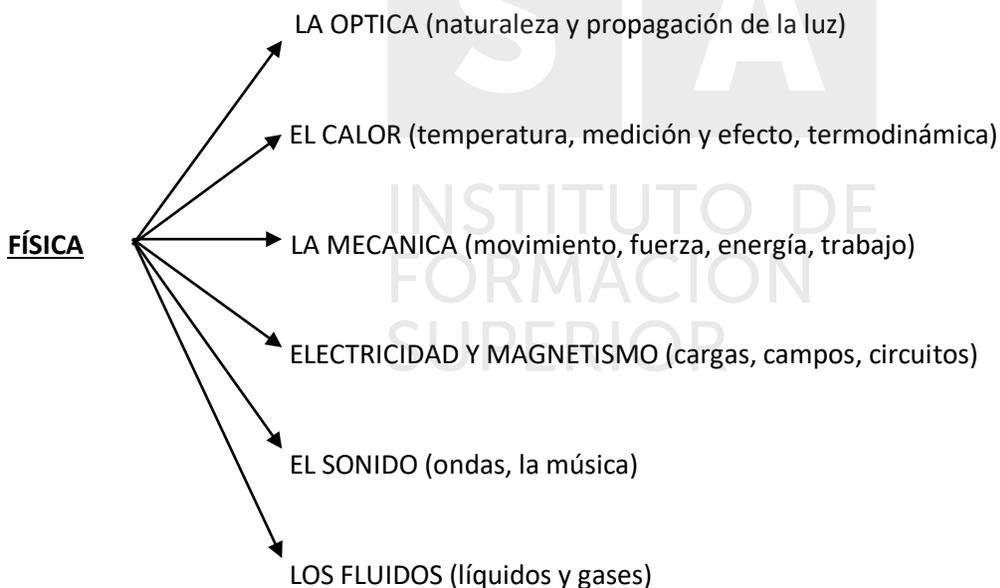
**UNIDAD I: CONCEPTOS INTRODUCTORIOS Y MATERIA**

**Introducción a la Física Biológica – Conceptos básicos para el estudio de la Física**

La Física es la ciencia que observa la Naturaleza, y trata de describir las leyes que la gobiernan mediante expresiones matemáticas.

Hasta mediados del siglo XIX había textos y cursos en lo que se venía llamando Filosofía natural o experimental. Con este nombre se reconocía el contraste existente entre materias que dependían de experimentos y otras, tales como Literatura o Religión, que no. A medida que se acumulaban los resultados y las conclusiones de la Filosofía experimental, empezó a ser difícil para una sola persona trabajar en todo el campo, entonces aparecieron las subdivisiones. Bastante antes de 1850, la Química, la Astronomía, la Geología y otras disciplinas similares se separaron como ciencias independientes. El núcleo que fue quedando a medida que esto sucedía se denominó *Física*. Debido a su carácter central respecto a otras ciencias, la comprensión de la Física se requiere en muchas otras disciplinas.

La Física es una ciencia cuantitativa que incluye mecánica, fenómenos térmicos, electricidad y magnetismo, óptica y sonido. Estas materias son parte de la Física clásica. Si en la resolución de un problema físico deben considerarse velocidades cercanas a la de la luz o tamaños comparables a los de un átomo, entonces se deben tener en cuenta los principios o leyes de la Física moderna, esto es, los descubrimientos del siglo XX. Estos principios incluyen la relatividad y la mecánica cuántica.



El progreso en el estudio de la naturaleza permitió al hombre ir descubriendo nuevos fenómenos y los logros obtenidos fueron la base sobre la que se asentaron la evolución y el desarrollo tecnológico. No es difícil reconocer que vivimos en un mundo científico y tecnológico; la física es una parte fundamental de nuestro mundo que influye en nuestra sociedad a cualquier escala, pues abarca desde lo infinitamente grande, la astrofísica, a lo infinitamente pequeño, la física de las partículas elementales. Por ello no debe extrañar la presencia de la física en todo lo que ha representado progreso científico y técnico.

No se puede anticipar cuál será el futuro de la física, pero estoy convencido que seguirá siendo una búsqueda emocionante, ya que aún quedan por descubrir maravillas del universo que hasta ahora son desconocidas.

### LOS MÉTODOS DE LA FÍSICA

No solo el raciocinio y el sentido común son importantes para el estudio de la Física, de ahí que una vez observado un fenómeno natural se propone una teoría y a continuación se llevan a cabo experiencias a efectos de verificar si las predicciones de la teoría se cumplen; si resultan los experimentos la teoría se acepta y se dá por válida y se convierte en ley.

Podemos definir el **método científico** como el proceso que sigue la comunidad científica para dar respuesta a sus interrogantes, la secuencia de procedimientos que usa para confirmar como regla o conocimiento lo que en origen es una mera hipótesis. El **método científico** consta fundamentalmente de cinco pasos:

#### **1. Observación**

Análisis sensorial sobre algo -una cosa, un hecho, un fenómeno,...- que despierta curiosidad. Conviene que la observación sea detenida, concisa y numerosa, no en vano es el punto de partida del método y de ella depende en buena medida el éxito del proceso.

#### **2. Hipótesis**

Es la explicación que se le da al hecho o fenómeno observado con anterioridad. Puede haber varias hipótesis para una misma cosa o acontecimiento y éstas no han de ser tomadas nunca como verdaderas, sino que serán sometidas a experimentos posteriores para confirmar su veracidad.

#### **3. Experimentación**

Esta fase del método científico consiste en probar -experimentar- para verificar la validez de las hipótesis planteadas o descartarlas, parcialmente o en su totalidad.

#### **4. Teoría**

Se hacen teorías de aquellas hipótesis con más probabilidad de confirmarse como ciertas.

#### **5. Ley**

Una hipótesis se convierte en ley cuando queda demostrada mediante la experimentación.

### Materia ¿Qué es la materia?

Para entender cómo está formada la materia, tuvieron que pasar más de 20 siglos y esa pregunta no está resuelta del todo. En un principio existieron dos teorías. Una de ellas proponía a la materia como divisible hasta el infinito y que cada una de las partes conservaba las características de la totalidad de la cual surgió. La otra teoría propone que la división infinita de la materia es posible hasta cierto punto y que existe una cantidad mínima de la cual parte todo. A este modelo se le llamó modelo discontinuo de la materia. Y es ahí, en la misma Grecia, que surge la idea de una partícula básica, mínima, indivisible y en constante movimiento denominada átomo. Y aunque esta idea nació hace tantísimo tiempo, no fue retomada sino más de 2000 años después. Cuando se empiezan a estudiar con más detalle el estado gaseoso, los científicos son capaces de explicar el comportamiento de los gases imaginando que están formados por partículas y espacio vacío, de esta manera es posible comprender propiedades como la expansión y la compresión.

Así es como surgió el modelo cinético de partículas, que más tarde se adapta a los demás estados de la materia con muy buenos resultados. Bajo esta perspectiva, debemos considerar que en la época de Newton, por ejemplo, átomo y partícula eran tratados como sinónimos, la realidad es que no lo son. En la actualidad se concibe una partícula como porción mínima de materia que conserva las características y propiedades de la totalidad de la materia que forma parte. A partir de estos estudios nace un modelo basado en la existencia de las partículas, el cual es llamado “modelo cinético de partículas”, entre sus postulados básicos están los siguientes:

Toda la materia está formada por partículas.

Las partículas se encuentran siempre en movimiento.

Las partículas interactúan entre sí con fuerzas de mayor o menor intensidad

La distancia que existe entre partícula y partícula es muy grande en comparación con su tamaño

Los choques entre partícula-partícula y entre la partícula y la pared del recipiente en donde se encuentran ocurren sin pérdida de energía.

La energía cinética promedio de las partículas es proporcional a su temperatura.

En la actualidad se conoce como materia a todo aquello que tiene una masa y ocupa un lugar en el espacio, entendiendo por masa a la cantidad de materia que contiene un cuerpo.

Básicamente podemos encontrarla en tres estados de agregación o estados físicos que son: **sólido, líquido y gaseoso**; pero en la actualidad se aceptan cinco estados de la materia.

El cuarto estado corresponde al **plasma** que es considerado un fluido semejante a un gas en el cual, una parte de las partículas están ionizadas. Este estado es muy común en el universo, las estrellas, los bordes de los relámpagos y la ionósfera de la Tierra están en este estado. No es considerado un gas porque presenta características que el estado gaseoso no presenta, el aporte de energía a un gas trajo como consecuencia que el mismo se haya energizado hasta llegar al punto de que algunos electrones se liberan de los átomos que forman el gas pero siguen conviviendo juntos, los electrones liberados y los átomos ahora convertidos en iones, en estas condiciones se presentan por ejemplo, efectos colectivos bajo la influencia de campos magnéticos y se conduce la corriente eléctrica.

El quinto estado de la materia fue predicho por Satyendra Nath Bose y Albert Einstein en 1924. Para ellos, resultaba imposible poder comprobarlo de manera experimental, pero en la actualidad se ha conseguido ver el condensado y comprobar su existencia. Se le nombra así como **condensado de Bose-Einstein**, es el estado

de agregación de la materia que se da en ciertos materiales a temperaturas muy cercanas al cero absoluto ( $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). La Propiedad que lo caracteriza, es que una gran cantidad de partículas del material pasan a estar en el nivel de energía mínima llamado estado fundamental de la materia y posee dos características únicas denominadas superfluidez y superconductividad. La superfluidez significa que la materia deja de tener fricción y la superconductividad indica resistencia eléctrica nula, debido a estas características, el estado condensado de Bose-Einstein tiene propiedades que pueden contribuir en la transmisión de energía por luz, por ejemplo, si la tecnología permite alcanzar temperaturas extremas.



#### Cambios físicos y químicos de la materia

La materia es susceptible de sufrir cambios, tanto físicos como químicos.

En la naturaleza se producen continuamente cambios o transformaciones. Vamos a clasificar estos cambios en dos tipos: químicos y físicos.

**Cambios químicos:** Son aquellos en los que unas sustancias se transforman en otras sustancias diferentes, con naturaleza y propiedades distintas.

Por ejemplo se producen cambios químicos cuando una sustancia arde, se oxida o se descompone.

**Cambios físicos:** Son todos aquellos en los que ninguna sustancia se transforma en otra diferente.

Por ejemplo se producen cambios físicos cuando una sustancia se mueve, se le aplica una fuerza o se deforma.

## **Propiedades de la Materia**

### **Propiedades generales**

Las presentan los sistemas materiales sin distinción y por tal motivo no permiten diferenciar una sustancia de otra. A algunas de las propiedades generales se les da el nombre de extensivas, pues su valor depende de la cantidad de materia, tal es el caso de la masa, el peso, volumen. Otras, las que no dependen de la cantidad de materia sino de la sustancia de que se trate, se llaman intensivas, y es su paradigma la densidad.

### **Propiedades extensivas**

Son las cualidades de la materia dependientes de la cantidad que se trate. Son aditivas y de uso más restringido para caracterizar a las clases de materia debido a que dependen de la masa. Si se tienen 6 ml de lejía en un recipiente y se añaden 4 ml el volumen de lejía es ahora de 10 ml; la propiedad física llamada volumen varió directamente al variar la cantidad de materia.

### **Propiedades intensivas**

Son las cualidades de la materia independientes de la cantidad que se trate, es decir no dependen de la masa, no son aditivas y por lo general resultan de la composición de dos propiedades extensivas. El ejemplo perfecto lo proporciona la densidad, que relaciona la masa con el volumen, el punto de fusión, el punto de ebullición, el coeficiente de solubilidad, el índice de refracción, el módulo de Young, etc.

### **Propiedades químicas**

Son propiedades distintivas de las sustancias que se observan cuando se combinan con otras, es decir, que les pasa en procesos por los que, por otra parte, las sustancias originales dejan generalmente de existir, formándose con la misma materia otras nuevas. Las propiedades químicas se manifiestan en los procesos químicos (reacciones químicas), mientras que las propiedades propiamente llamadas propiedades físicas, se manifiestan en los procesos físicos, como el cambio de estado, la deformación, el desplazamiento, etc.

Ejemplos de propiedades químicas:

- corrosividad de ácidos
- poder calorífico
- acidez
- reactividad

### **Otras propiedades físicas de los materiales**

Las propiedades físicas de los materiales dependen de la materia con la que están formados. En física se las diferencia en propiedades extensivas (peso, área, volumen) cuando dependen de la cantidad de materia o intensivas las que no están relacionadas con la cantidad de materia existente (densidad, punto de fusión, resistividad eléctrica, etc).

### **Propiedades Ópticas**

Este tipo de propiedades están relacionadas con la posibilidad de un material de absorber la energía de las radiaciones electromagnéticas. Dentro de éstas adquieren particular importancia las que tienen longitud de onda entre 400 y 700 nm ya que son las que el ojo humano detecta y constituyen lo que se conoce como luz o radiación luminosa y por eso se habla de propiedades ópticas (relativas a la visión).

### Propiedades eléctricas

La posibilidad de permitir la circulación de la energía eléctrica está relacionada con la estructura electrónica de la materia. Sólo en los materiales metálicos existen electrones relativamente libres (nube electrónica) y se comportan como conductores y su comportamiento es diferente del de los materiales orgánicos y cerámicos que se pueden utilizar como aislantes eléctricos.

### Propiedades térmicas

Para analizar el comportamiento de un material al recibir energía térmica se debe tener en cuenta si conduce esa energía, y también, cuánta energía absorbe; esto está relacionado con su calor específico. Cuando se tienen en cuenta ambas propiedades (conducción y absorción) se analiza la denominada difusibilidad térmica propiedad que da una idea de la capacidad aislante de un material. Los materiales cerámicos y los orgánicos no conducen la energía térmica con facilidad, pero los orgánicos son los que más la absorben (sus moléculas, debido a su tamaño, requieren más energía para adquirir movilidad). La acción aislante obtenida con materia orgánica es superior a la lograda con la cerámica. Otro aspecto relacionado con la energía térmica absorbida por un material se refiere a los cambios dimensionales que ello determina. Si a un cuerpo, por ejemplo una varilla, cambia su temperatura, es decir que se lo calienta o se lo enfría, experimenta un cambio en sus dimensiones.

### Propiedades magnéticas

Las propiedades de un material que actúa como imán atrayendo o rechazando a otro de acuerdo con los polos que se enfrenten, está determinada por la naturaleza de los átomos (específicamente algunos de sus electrones) presentes en la estructura.

### Propiedades Mecánicas de los Materiales Biológicos

Las propiedades mecánicas de los materiales permiten diferenciar un material de otro ya sea por su composición, estructura o comportamiento ante algún efecto físico o químico. En el caso particular de los huesos la relación entre las propiedades estructurales, las propiedades mecánicas y el comportamiento mecánico es complicada y supone todo un desafío. La comprensión de esta relación es de gran importancia ya que ayuda a entender el comportamiento del hueso sometido a constantes cargas fisiológicas, identifica las áreas más susceptibles a la fractura y permite predecir los efectos de distintas patologías y de los tratamientos de las mismas en la resistencia del hueso.

### La Elasticidad

Un cuerpo elástico se define como aquel que puede recuperar su forma y tamaño original cuando la fuerza que lo deformó deja de actuar sobre él. Las banditas elásticas, pelotas de golf, trampolines, pelotas de fútbol y resortes son ejemplos comunes de cuerpos elásticos. La plastilina y la arcilla de moldear son ejemplos de cuerpos inelásticos (plásticos) ya que una vez desaparecida la fuerza que lo deformó no recuperan su tamaño y forma original. .

Se dice que un material cuya deformación cesa con la desaparición de las cargas (fuerzas), se comporta de manera elástica. Todos los materiales estructurales son elásticos en cierto grado. Si no lo fueran y quedara en la estructura una deformación residual una vez retiradas las cargas, nuevas cargas incrementarían dicha deformación y la estructura quedaría inutilizada. Ningún material estructural es perfectamente elástico: según el tipo de estructura y el tipo de cargas, las deformaciones permanentes son inevitables cuando las cargas sobrepasan ciertos valores.

Por lo tanto, las cargas deben limitarse a valores que no produzcan deformaciones permanentes apreciables.

## ESFUERZOS

Todos los materiales cambian su forma volumen o ambos bajo la influencia de un esfuerzo. Se define como la razón de una fuerza aplicada [F] y el área [A] sobre la que actúa.

### Tipos de Esfuerzos

Las cargas aplicadas originan en los elementos estructurales uno o varios tipos de fuerzas:

Las Fuerzas Axiales: originan esfuerzos que se clasifican en dos tipos:

1. **Esfuerzos de Tracción:** originados por Fuerzas que tienen la tendencia a estirar los elementos.

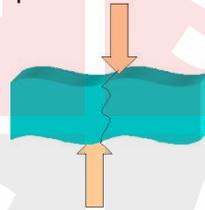


2. **Esfuerzos de Compresión:** Originados por Fuerzas que tienden a comprimir los elementos.

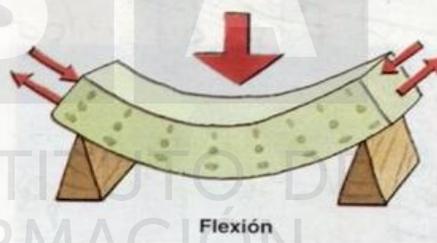


Las fuerzas No Axiales originan los siguientes esfuerzos:

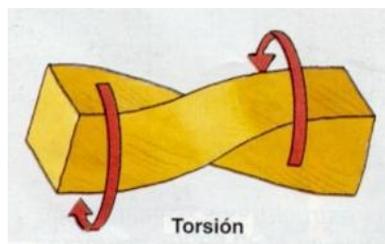
**Esfuerzo de Corte:** Producidos por Fuerzas que tienden a cortar o desplazar secciones adyacentes de los elementos.



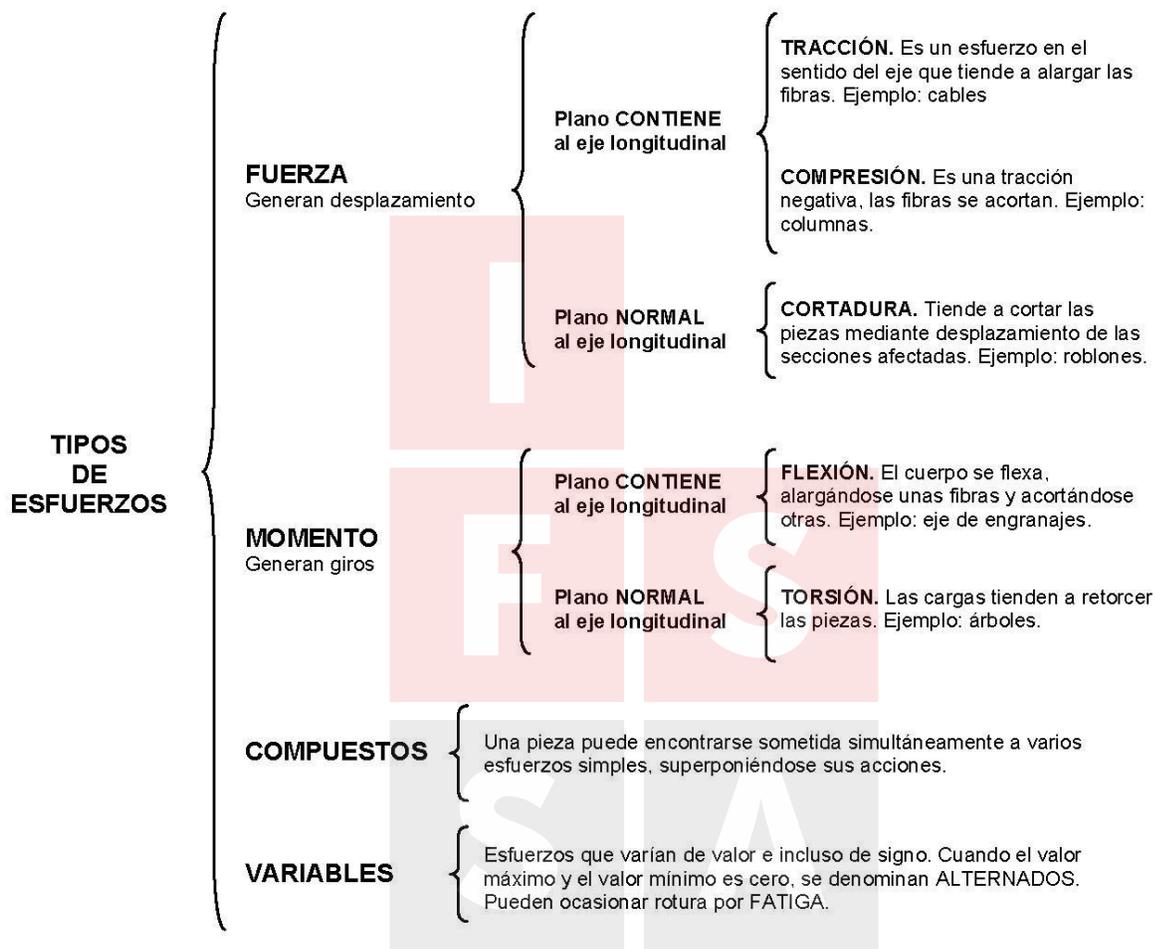
3. **Momento de Flexión:** Originado por fuerzas que tienen tendencia a flexionar o doblar los elementos.



4. **Momento de torsión:** Producido por fuerzas que a los elementos tienen la tendencia a torsionar o torcerlos



**RESUMEN**



### Energía ¿Qué es la energía?

Se conoce como energía la capacidad de los sistemas materiales o cuerpos, de transferir calor o realizar un trabajo. Así siendo, a medida que un cuerpo trasfiere calor o realiza un trabajo, pierde energía.

Los cambios físicos y químicos de la materia, son producidos por la energía.

Existen varios tipos de energía.

**Energía potencial:** Energía que posee una sustancia o materia por su composición química o posición en el espacio. Es la capacidad de realizar un trabajo por medio de la posición.

Una hoja de guillotina sujeta en lo alto por una cuerda y una polea es un ejemplo de un objeto que posee energía potencial. Si la cuerda se corta, la hoja descenderá y realizará su tarea. Se necesita realizar un trabajo para llevar la hoja de la guillotina a su posición elevada y, por este motivo, se dice que la hoja tiene una energía potencial. Otros ejemplos de objetos que poseen energía potencial incluyen una montaña rusa en lo alto de la pendiente y el muelle extendido de una puerta abierta.

**Energía cinética:** Energía que posee una sustancia o materia gracias a su movimiento dentro del espacio.

Toda la materia en movimiento posee energía cinética: un automóvil moviéndose, un molino de viento girando, una hoja de guillotina cayendo. Estos sistemas pueden hacer todo su trabajo debido a su movimiento.

**Energía química:** es la energía liberada por una reacción química.

Un ejemplo importante de este tipo de energía es la que se proporciona a nuestros cuerpos mediante reacciones químicas que afectan a los alimentos que comemos. En el nivel molecular, esta área de la ciencia se denomina bioquímica. La energía liberada cuando explota dinamita es el ejemplo más espectacular de energía química.

**Energía eléctrica:** representa el trabajo que puede hacerse cuando un electrón se mueve a través de una diferencia de potencial eléctrico (voltaje).

La forma más familiar de energía eléctrica es la electricidad doméstica normal, que conlleva el movimiento de electrones a través de un hilo de cobre por una diferencia de potencial eléctrico de 110 voltios (V). Todos los aparatos eléctricos, como los motores, calentadores y ventiladores, funcionan mediante el uso de energía eléctrica.

**Energía térmica (calor):** es la energía del movimiento en el nivel atómico y molecular.

Es la energía cinética de las moléculas y está estrechamente relacionada con la temperatura. Cuanto más rápido vibran las moléculas de una sustancia, mayor energía térmica contiene la sustancia y mayor es su temperatura.

**Energía nuclear:** es la energía contenida en el núcleo de un átomo.

Podemos controlar la liberación y la utilización de este tipo de energía en centrales nucleares de energía eléctrica. Un ejemplo de liberación no controlada de energía nuclear es la bomba atómica.

**Energía electromagnética:** es quizá la forma menos familiar de energía. Sin embargo, es la más importante para nuestro objetivo, ya que es el tipo de energía que se utiliza en los rayos X. Además de los rayos X, la energía electromagnética incluye las ondas de radio, las microondas y la luz ultravioleta, infrarroja y visible. Así como la materia puede transformarse de un tamaño, estado y forma a otros, también la energía puede transformarse de un tipo a otro. Por ejemplo, en radiología la energía eléctrica en un sistema de imagen de rayos X se utiliza para producir energía electromagnética (el rayo X), que se convierte en energía química en la película radiográfica.

Reconsidere ahora el hecho de que todas las cosas pueden clasificarse como materia o energía. Mire a su alrededor y piense en alguna cosa y debería convencerse de este hecho. Debería ser capaz de clasificar cualquier cosa como materia, energía o ambas.

Con frecuencia, materia y energía existen juntas: un automóvil en movimiento tiene masa y energía cinética, el agua hirviendo tiene masa y energía térmica, la Torre inclinada de Pisa tiene masa y energía potencial.

Quizá la propiedad más extraña asociada con la materia y la energía es que son intercambiables, una característica descrita por primera vez por Albert Einstein en su famosa teoría de la relatividad. La ecuación de equivalencia masa energía de Einstein es una piedra angular de esta teoría. Esta equivalencia masa-energía es la base de la bomba atómica, las centrales de energía nuclear y ciertas técnicas de imagen de medicina nuclear. La energía emitida y transferida en el espacio se denomina radiación. Cuando la cuerda de un piano vibra se dice que irradia sonido; el sonido es una forma de radiación. Las ondas irradian desde el punto donde cae una piedra en un charco tranquilo.

La luz visible, una forma de energía electromagnética, es irradiada por el sol y con frecuencia se denomina radiación electromagnética. De hecho, la energía electromagnética viajando a través del espacio normalmente se denomina radiación electromagnética o simplemente radiación.

En los procesos químicos, es frecuente el intercambio de calor. Muchas reacciones químicas desprenden calor (cualquier combustión), son exotérmicas, sin embargo, otros procesos que absorben calor del entorno, son endotérmicos. El proceso de vaporización del agua líquida es endotérmico ya que requiere un aporte de calor. Energía que posee una sustancia o materia por su composición química o posición en el espacio.

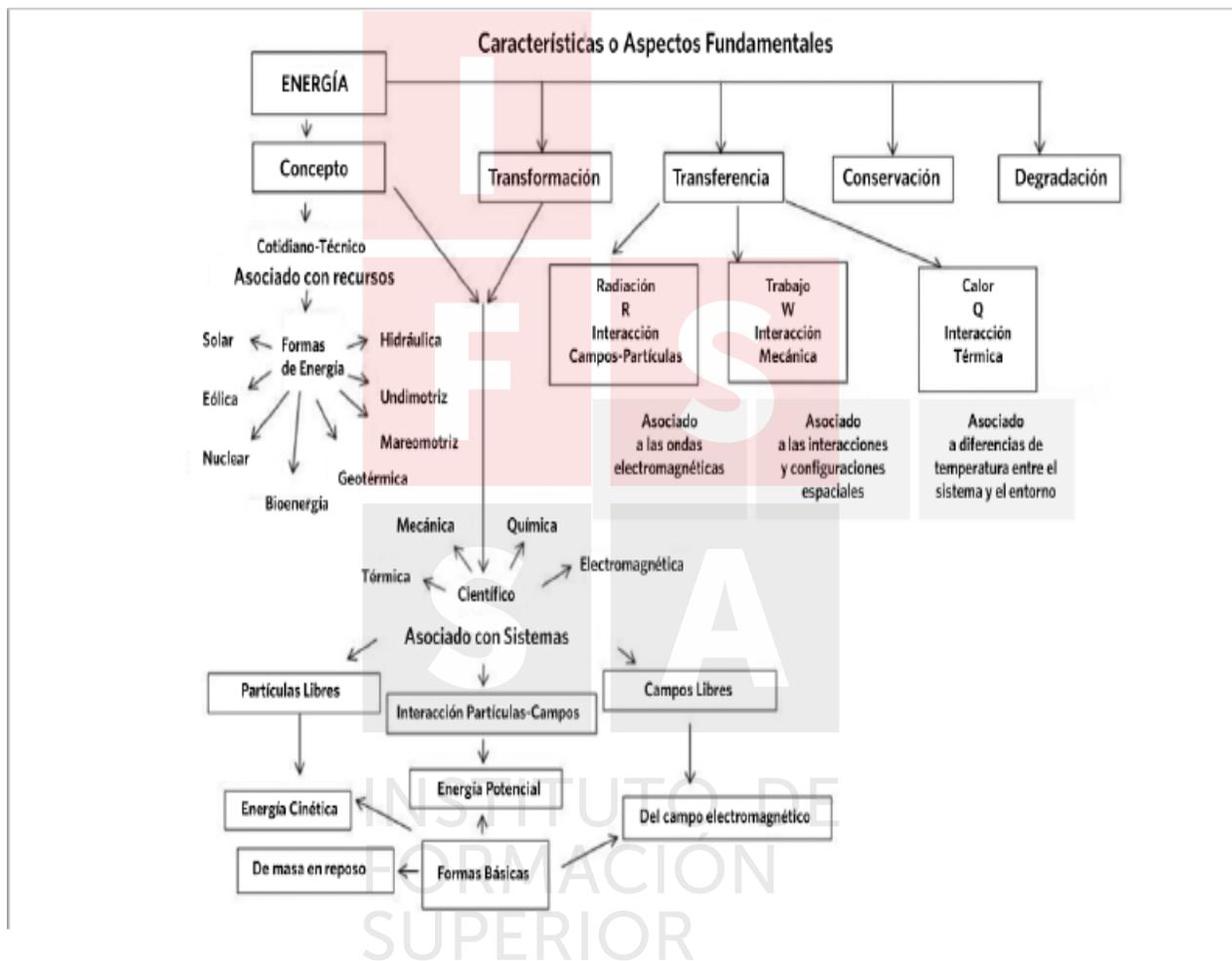
### **Características básicas del concepto científico de energía**

Para ir sentando las bases científicas del concepto de energía que utilizaremos desarrollaremos cuatro características o aspectos que debería tener asociados el concepto científico de energía: **la transformación, la transferencia o transmisión, la conservación y la degradación.**

Globalmente, lo anterior nos conduce a aceptar que cada vez que nombramos la palabra “energía” (o un sinónimo de ella), en el contexto de las ciencias, pensamos en las formas básicas en que la podemos imaginar; en las diversas maneras de transferirla entre un sistema que elijamos para analizar y su entorno; en el principio (en el cual creemos porque, dentro de la incertidumbre experimental, nadie ha demostrado lo contrario) que si sumamos bien todas las contribuciones asociadas a las diferentes formas de energía tanto del sistema como de sus alrededores y los modos de transmitirla, siempre obtendremos la misma cantidad y, finalmente, en un segundo principio que sostiene que aunque la cantidad que llamamos energía permanezca constante, no significa que podamos seguir realizando procesos para “rehabilitar” las formas de energía que

contabilizábamos al inicio; es decir, tenemos la misma cantidad de energía pero sin la misma disponibilidad (o “calidad”) para transformarla a favor nuestro.

Presentamos a continuación un esquema con el propósito de formarnos una idea integral de las diversas características y significados que incluye el concepto de energía, así como de algunas de las formas existentes, este cuadro representa *una versión particular* de concebir el concepto de energía y debemos considerarlo como “una” representación posible y no “la única”.



La energía ha sido definida como la capacidad de un sistema físico para realizar trabajo. La materia posee energía como resultado de su movimiento o de su posición en relación con las fuerzas que actúan sobre ella. La radiación electromagnética posee energía que depende de su frecuencia y, por tanto, de su longitud de onda. Esta energía se comunica a la materia cuando absorbe radiación y se recibe de la materia cuando emite radiación.

La energía asociada al movimiento se conoce como energía cinética, mientras que la relacionada con la posición es la energía potencial. Por ejemplo, un péndulo que oscila tiene una energía potencial máxima en los extremos de su recorrido; en todas las posiciones intermedias tiene energía cinética y potencial en

proporciones diversas. La energía se manifiesta en varias formas, entre ellas la energía mecánica, térmica, química, eléctrica, radiante o atómica. Todas las formas de energía pueden convertirse en otras formas mediante los procesos adecuados. En el proceso de transformación puede perderse o ganarse una forma de energía, pero la suma total permanece constante.

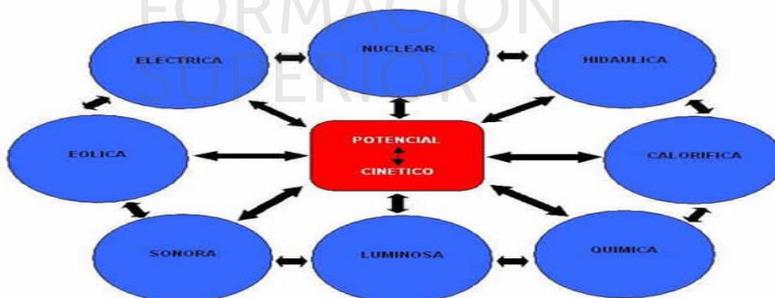
No deben utilizarse los términos de transformación y transferencia de energía indistintamente, como tampoco los de degradación y disipación. Transformación es un concepto que implica que la energía pasa de una forma a otra. Por consiguiente, la utilización de este vocablo dependerá de qué concepto se tenga de formas de energía. En relación con la transferencia de energía, este proceso se refiere al paso de energía desde un sistema a otro, sin tomar en consideración si esa energía se transforma o no.

Cuando se habla de degradación, se quiere indicar que la energía se transforma en una forma menos útil o aprovechable para producir determinados cambios. Cuando la energía cinética asociada al movimiento de un martillo se transforma en energía interna del martillo y del clavo, esa energía se va disipando al aire que los rodea, lo que equivale a extenderse o repartirse entre mayor número de partículas cada vez.

Un peso suspendido de una cuerda tiene energía potencial, debido a su posición, puesto que puede realizar trabajo al caer. Una batería eléctrica tiene energía potencial en forma química. Un trozo de magnesio también tiene energía potencial en forma química, que se transforma en calor y luz si se inflama. Al disparar un fusil, la energía potencial de la pólvora se transforma en la energía cinética del proyectil. La energía cinética del rotor de una dinamo o alternador se convierte en energía eléctrica mediante la inducción electromagnética. Esta energía eléctrica puede, a su vez, almacenarse como energía potencial de las cargas eléctricas en un condensador o una batería, disiparse en forma de calor o emplearse para realizar trabajo en un dispositivo eléctrico.

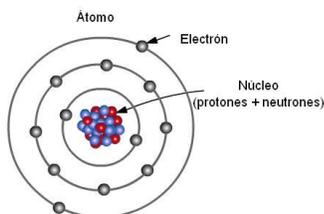
Todas las formas de energía tienden a transformarse en calor, que es la forma más degradada de la energía.

## TRANSFORMACIONES DE LA ENERGÍA



Las distintas formas de manifestarse la energía se pueden transformar de una en otra.

**El átomo y su estructura**



En el átomo distinguimos dos partes: el núcleo y la corteza.

El núcleo es la parte central del átomo y contiene partículas con carga positiva, los protones y partículas que no poseen carga eléctrica, es decir son neutras, los neutrones. La masa de un protón es aproximadamente igual a la de un neutrón. Todos los átomos de un elemento químico tienen en el núcleo el mismo número de protones. Este número, que caracteriza a cada elemento y lo distinguen de los demás es el número atómico y se lo representa con letra Z.

La corteza es la parte exterior del átomo. En ella se encuentran los electrones, con carga negativa. Estos ordenados en distintos niveles giran alrededor del núcleo. La masa de un electrón es una 2000 veces menor que la de un protón.

Los átomos son eléctricamente neutros, debido a que tienen igual número de protones que de electrones. Así, el número atómico también coincide con el número de electrones.

**Modelos atómicos:**

## El átomo en el tiempo

500 años AC Demócrito y Leucipo

2400 años después evidencias experimentales y el desarrollo natural del conocimiento

Michael Faraday al realizar experiencias con **ELECTRICIDAD** propone la naturaleza eléctrica de la materia

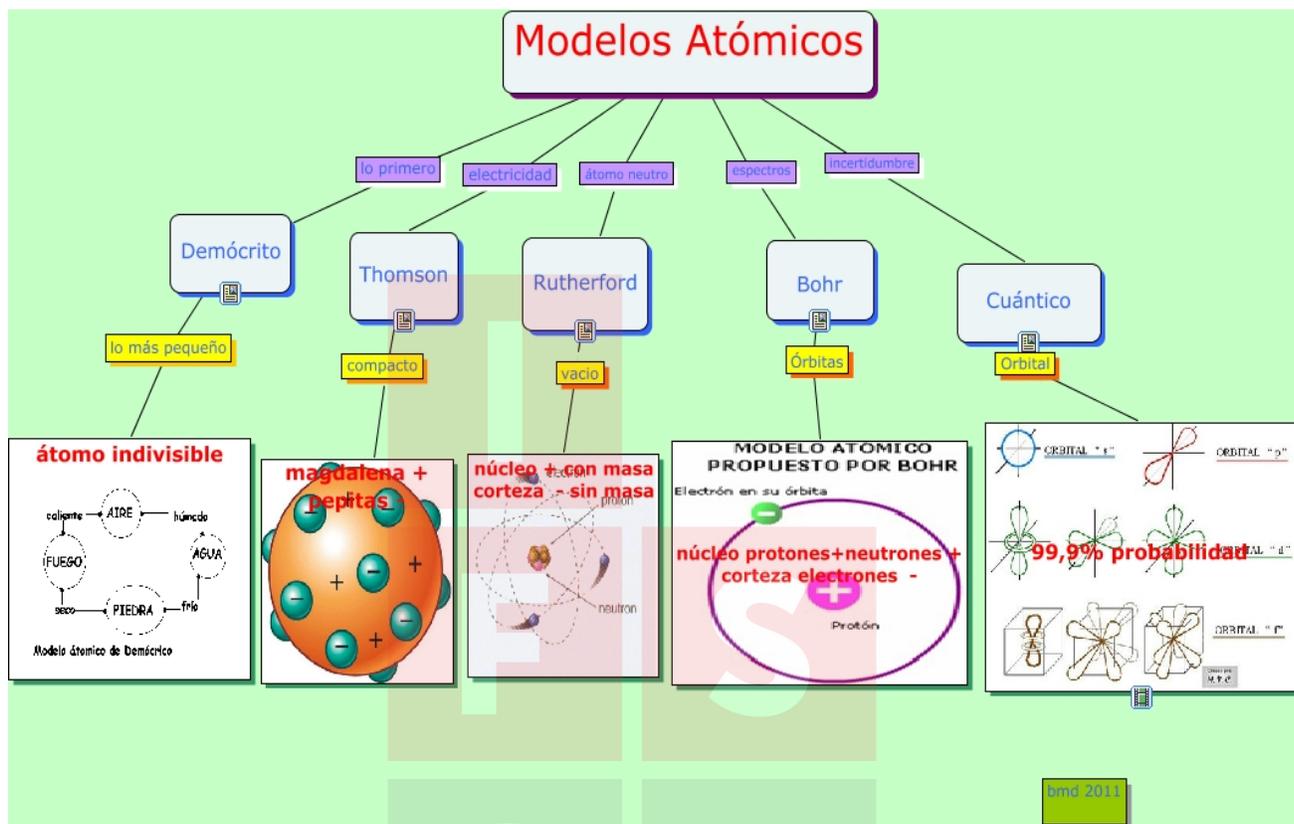
1808 John Dalton propone la primera **Teoría Atómica**, representando al átomo como una esfera compacta indivisible e indestructible. El modelo se sustenta en 4 postulados.

1850 Williams Crookes al trabajar con tubos de descarga descubre los **rayos catódicos**

1855 Wilhelm Roentgen al trabajar con los **rayos catódicos** descubre los **rayos X**

1896 Henri Becquerel al estudiar la fluorescencia que emita un mineral de Uranio (piechblenda) descubre casualmente la **RADIOACTIVIDAD**, propiedad de los átomos de ciertos elementos a desintegrar su núcleo espontáneamente generando partículas y/o radiaciones. A estos elementos se les llamó **Elementos Radiactivos** y a esas emisiones se les llamó **Emisiones Radiactivas** (partículas alfa, partículas beta y rayos gamma). Dicha propiedad siguió siendo estudiada por Marie y Pierre Curie quienes aportaron nuevos elementos radiactivos el Ra y Po.

1897 Joseph Thomson al trabajar con los rayos catódicos, concluyó que estos rayos al ser afectados por un campo eléctrico-magnético y dirigirse hacia el ánodo debían ser partículas con carga negativa, las que posteriormente se llamaron **ELECTRONES**. Gracias a estas observaciones Thomson postula su modelo atómico de la materia conocido como el modelo del **Budín de pasas**.



Los científicos griegos de esa época pensaban que toda materia estaba formada por cuatro elementos: tierra, agua, aire y fuego. Según ellos, toda materia se podía describir como una combinación de estos cuatro elementos básicos en varias proporciones, modificadas por cuatro esencias básicas: húmedo, seco, caliente y frío. Los griegos utilizaron el término átomo, que significa «indivisible» para describir la parte más pequeña de las cuatro sustancias de la materia. Ahora sabemos que el átomo es la partícula más pequeña de materia que conserva las propiedades de un elemento.

La descripción griega de la estructura de la materia persistió durante cientos de años. Fue la base teórica de la teoría atómica moderna. En 1808, John Dalton, mostraba que los elementos se pueden clasificar de acuerdo a valores íntegros de masa atómica. es decir, un elemento estaría compuesto por átomos idénticos que reaccionan químicamente de la misma manera.

Unos 50 años después Mendeleïev, mostró que si los elementos se disponían por orden creciente de su masa atómica se observaba una repetición periódica de similares propiedades químicas. En aquel tiempo se habían identificado alrededor de 65 elementos resultando de este descubrimiento la primera tabla periódica de los elementos. A pesar de que había muchos huecos vacíos en la tabla de Mendeleïev, se demostraba que todos los elementos por entonces conocidos podían ser colocados en uno de estos ocho grupos, la única diferencia entre los átomos de un elemento y los de otro era su masa.

Paulatinamente se hizo evidente que existía una naturaleza eléctrica en la estructura de un átomo. A finales de la década de 1890, Thompson llegó a la conclusión de que los electrones eran parte integrante de todos los átomos. El número de electrones estaba pensado de manera que igualase la cantidad de electricidad positiva, ya que se sabía que el átomo debía ser eléctricamente neutro.

Rutherford refutó el modelo propuesto por Thompson, e introdujo el modelo nuclear, que describe el átomo con un centro pequeño, denso, cargado positivamente y rodeado de una nube negativa de electrones. Llamó al centro del átomo el núcleo.

En 1913, Niels Bohr mejoró el átomo de Rutherford. El modelo de Bohr era un sistema solar en miniatura en el que los electrones giraban alrededor del núcleo en determinadas órbitas o niveles de energía, para nuestros propósitos, este modelo representa la mejor forma de visualizarlo. Básicamente, el átomo de Bohr contiene un núcleo pequeño, denso, cargado positivamente y rodeado por electrones cargados negativamente que giran alrededor de este núcleo en órbitas fijas bien determinadas. En un átomo normal el número de electrones es igual al número de cargas positivas del núcleo.

**Nomenclatura del átomo:** Para identificar a los diferentes átomos necesitamos conocer su número atómico y número másico

- Número atómico: Número de protones que tiene en el núcleo. Representado por la letra Z
- Número másico: Número de protones y neutrones que tiene en el núcleo. Representado por la letra A

**Estructura electrónica:** Las propiedades de los elementos dependen sobre todo, de cómo se distribuyen sus electrones en la corteza. La configuración electrónica en la corteza de un átomo es la distribución de sus electrones en los distintos niveles y orbitales. Los electrones se van situando en los diferentes niveles y subniveles por orden de energía creciente hasta completarlos. Es importante saber cuántos electrones existen en el nivel más externo de un átomo pues son los que intervienen en los enlaces con otros átomos para formar compuestos.

Las ideas básicas son:

1. Existen 7 niveles de energía o capas, donde pueden situarse los electrones, enumerados desde el 1 más interno, al 7 más externo.
2. A su vez cada nivel, tiene sus electrones repartidos en distintos subniveles, que pueden ser s, p, d, f.
3. En cada subnivel hay un número determinado de orbitales, que pueden contener como máximo 2 electrones en el s, 6 electrones en el p, 10 electrones en el d, y 14 electrones en el f.

	s	p	d	f
n = 1	1s			
n = 2	2s	2p		
n = 3	3s	3p	3d	
n = 4	4s	4p	4d	4f
n = 5	5s	5p	5d	5f
n = 6	6s	6p	6d	
n = 7	7s	7p		

## **UNIDAD Nº 2: ENERGÍA E INTRODUCCIÓN A LAS RADIACIONES**

### **ONDAS**

#### **Principios Básicos**

Una onda es una alteración, perturbación o disturbio que viaja o se mueve.

Las ondas (o movimientos ondulatorios) son, fundamentalmente, de dos clases: ***mecánicas y electromagnéticas***.

Las ondas mecánicas necesitan un medio material para propagarse; las electromagnéticas no, pues se *propagan* también por el vacío.

#### **Características de las ondas**

*Periódicas*, cuando proceden de una fuente que vibra periódicamente y transmite frentes de ondas en sucesivas perturbaciones;

*No periódicas*, cuando son perturbaciones o frentes de onda aislados;

*Longitudinales*, si el desplazamiento de las partículas del medio es paralelo a la dirección de traslación de la energía (como el sonido);

*Transversales*, si la onda va asociada a desplazamientos perpendiculares a la dirección de propagación de la energía (como las ondas electromagnéticas)

*Progresivas o viajeras*, transportan energía y cantidad de movimiento desde el origen a otros puntos del *entorno*;

*Estacionarias*, no transmiten energía pero si intercambian energías cinética y potencial en sus elongaciones.

Las ondas *progresivas* se propagan con una *velocidad* que depende exclusivamente de las propiedades del medio.

En su propagación pueden experimentar:

*Reflexión* o cambio de dirección de su velocidad en el medio, al chocar con alguna superficie;

*Propagación* dentro de un segundo medio en donde pueden experimentar *refracción y dispersión*;

*Polarización*, fenómeno exclusivo de las ondas transversales.

*La superposición* de ondas en una región del espacio puede dar origen a:

*Interferencias, pulsaciones y ondas estacionarias* cuando coinciden en determinadas direcciones y frecuencias.

*Difracción*, cuando un objeto dificulta el paso de la onda y distorsiona el avance del frente.

## DESCRIPCION DE LAS ONDAS

Todas las ondas que hemos descrito hasta ahora son ejemplos de “ondas periódicas,” en la medida que comportan un movimiento cíclico. Las ondas viajan a través del espacio y del tiempo, y pueden ser descritas en términos de sus características en ambas de estas dimensiones.

**Amplitud (A)** de la onda es el desplazamiento máximo de una partícula desde su posición de equilibrio - o de la altura de una onda. Se mide en metros

**Longitud de onda ( $\lambda$ )** es la medida longitudinal de una onda, y es simplemente la longitud de un ciclo de una onda. La longitud de onda también puede ser medida entre los espacios sucesivos, o entre cualquiera de dos puntos equivalentes de una onda. Se mide en metros.

**Periodo de una onda (T)** es el tiempo (medido en segundos) que el punto requiere para completar un ciclo entero de su movimiento, desde su punto más alto, a su punto más bajo, y nuevamente a su punto más alto.

**Frecuencia de una onda (f)** es la medida de cuán frecuentemente el punto completa un ciclo de su movimiento. En otras palabras, la frecuencia es el número de ciclos de las ondas, completado por un punto a través de la onda en un periodo de tiempo. La frecuencia de la onda está relacionada con el periodo de la onda por la siguiente ecuación:

$$f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

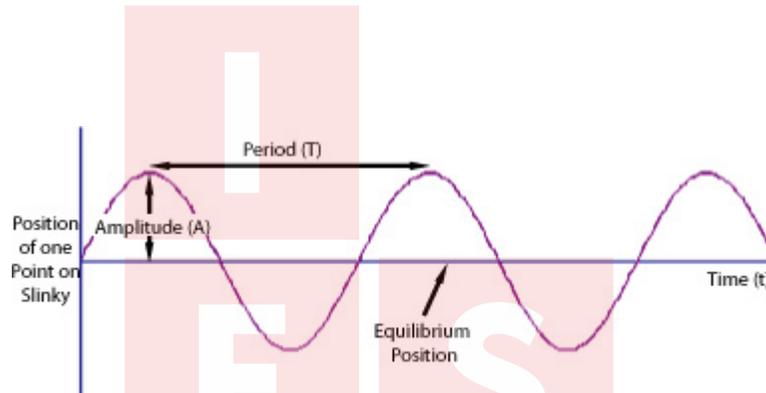
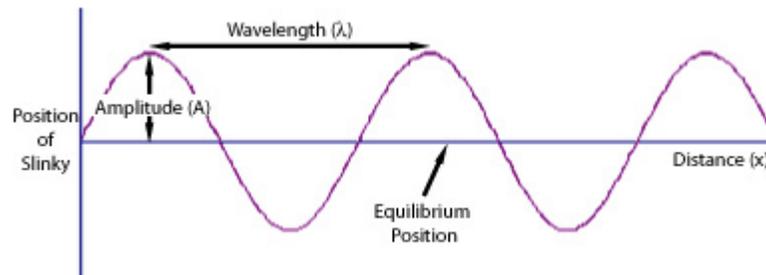
Donde f es la frecuencia y T es el período. La frecuencia se mide en ciclos por segundo, o hertz (Hz).

**Velocidad de las Ondas** es una descripción de cuán rápido viaja una onda. La velocidad de la onda está relacionada con la frecuencia, el período y la longitud de onda a través de las simples ecuaciones:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (2)$$

$$v = \lambda f \quad (3)$$

Donde v es la velocidad de la onda,  $\lambda$  es la longitud de onda, T es el período, y f es la frecuencia. La velocidad de la onda se mide en unidades de metros por segundo (m/s).



### **ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS**

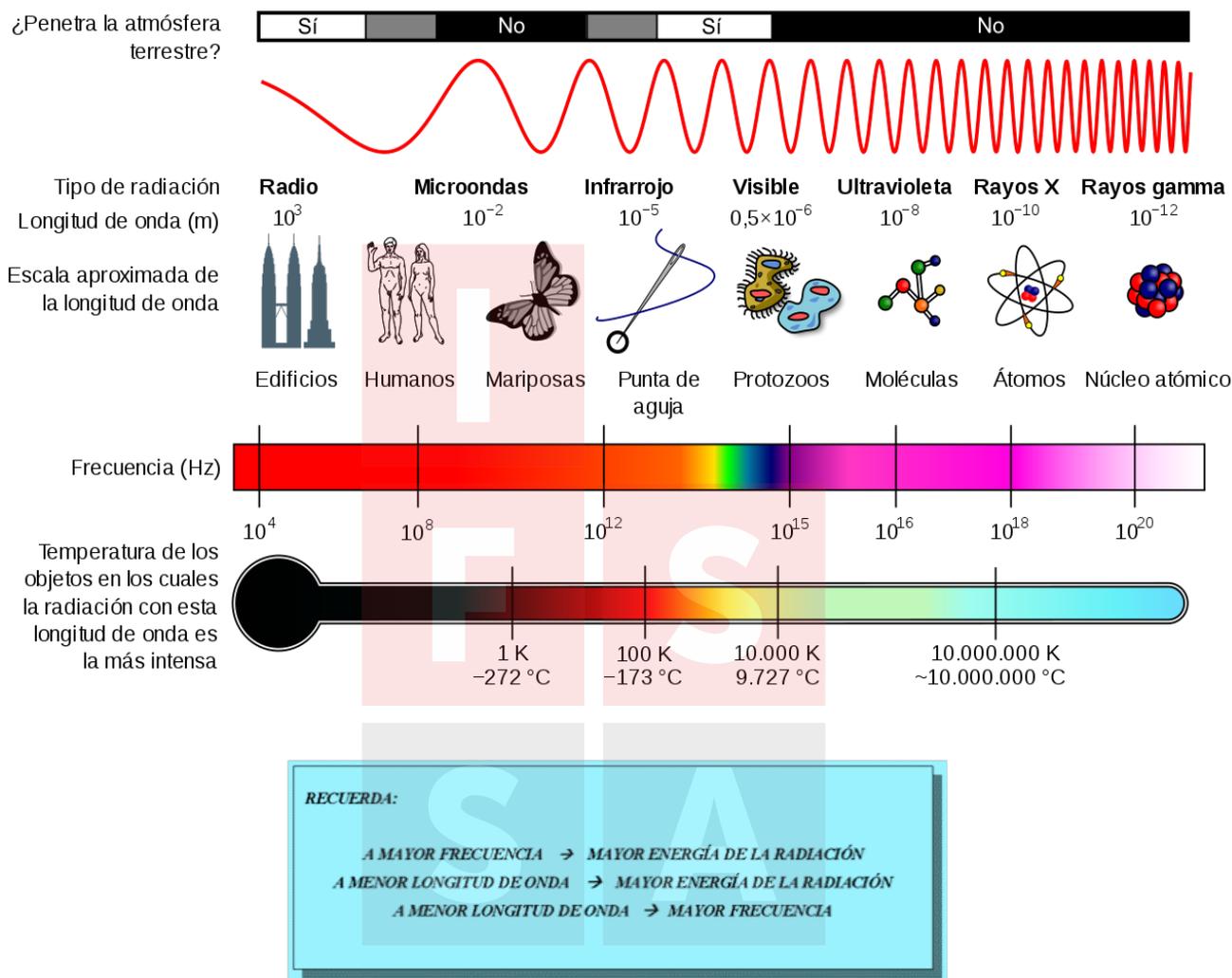
Son ondas producidas por la oscilación o la aceleración de una carga eléctrica. Las ondas electromagnéticas tienen componentes eléctricos y magnéticos. Las ondas electromagnéticas no necesitan un medio material para propagarse; pueden atravesar el espacio desplazándose en el vacío a una velocidad aproximada de 300.000 km/s a la que se denomina con la letra  $C$  y que corresponde a la velocidad de la luz en el vacío. Todas las radiaciones del espectro electromagnético presentan las propiedades típicas del movimiento ondulatorio, como la difracción y la interferencia.

Las longitudes de onda van desde billonésimas de metro hasta muchos kilómetros.

La longitud de onda ( $\lambda$ ) y la frecuencia ( $f$ ) de las ondas electromagnéticas, relacionadas mediante la expresión  $\lambda \cdot f$  (long. de onda)  $\cdot$   $f$  (frecuencia) =  $C$  (*velocidad de propagación*), son importantes para determinar su energía, su visibilidad, su poder de penetración y otras características.

La luz visible es sólo una pequeña parte del espectro electromagnético.

Por orden creciente de longitudes de onda (orden decreciente de frecuencias), se ha confeccionado una escala denominada espectro electromagnético.



El espectro electromagnético es la clasificación de las energías electromagnéticas según su energía, frecuencia y longitud de onda.

El espectro electromagnético está organizado por la frecuencia. Se lo mide en Hertz, Mega Hertz, etc, es decir por su frecuencia (podría ser por su longitud de onda). La radiación de frecuencia generalmente más baja está a la izquierda, y una mayor frecuencia de la radiación está a la derecha.

Las propiedades de las ondas a diferentes frecuencias se comportan de manera diferente a lo largo del espectro. Además cada aparato emite unas ondas de diferente frecuencia y si queremos emitir ondas de telefonía móvil pues tendremos que emitirlas en una banda de frecuencia determinada para no confundirlas con otras.

Las ondas emitidas con una frecuencia por encima de la infrarroja son las ondas visibles, como por ejemplo la de la luz del sol. Las de frecuencia más bajas no se ven, por ejemplo las de la radio, pero existen.

Debido a la importancia de las diferentes ondas con frecuencias, existen en el mercado los llamados "Medidores de Ondas Electromagnéticas", que son sensores que miden las frecuencias y la cantidad de campo magnético que hay en un sitio o que se genera por algún aparato.

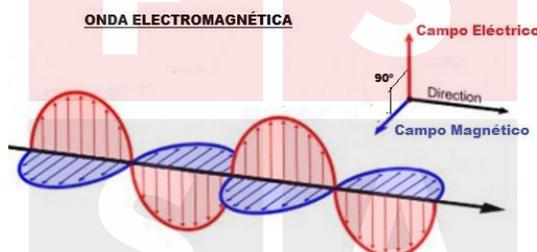
Normalmente se utilizan para medir los posibles riesgos para la salud relacionados con la exposición a campos electromagnéticos, y el cumplimiento de los límites de exposición que marca la normativa. Suelen medir el campo eléctrico y el campo magnético por separado.

La **radiación** es la emisión, propagación y transferencia de energía en cualquier medio en forma de ondas electromagnéticas o partículas. Una onda electromagnética es una forma de transportar energía.

Las radiaciones electromagnéticas son las generadas por partículas eléctricas y magnéticas moviéndose a la vez (oscilando). Cada partícula genera lo que se llama un campo, por eso también se dice que es una mezcla de un campo eléctrico con un campo magnético.

Pueden provenir de átomos inestables sometidos a la desintegración radiactiva (forma natural) o puede ser producida por máquinas (forma artificial).

La radiación se desplaza desde su fuente en forma de ondas de energía o partículas energizadas. Hay diferentes formas de radiación con propiedades y efectos distintos.



**Fotones:** Un fotón es la cantidad más pequeña de cualquier tipo de energía electromagnética, de la misma manera que un átomo es la parte más pequeña de un elemento. Un fotón puede describirse como un pequeño haz de energía, a veces llamado cuanto, que viaja a través del espacio a la velocidad de la luz. Hablamos de fotones de rayos X, fotones de luz y otros tipos de radiación electromagnética como radiación fotónica. Un fotón de rayos X es un cuanto de energía electromagnética.

Los fotones son perturbaciones de energía que se propagan a través del espacio a la velocidad de la luz. La velocidad de propagación de toda radiación electromagnética es  $3 \times 10^8$  m/s. A pesar de que los fotones no tienen masa y, en consecuencia, no tienen forma definida, sí tienen campos eléctrico y magnético que varían continuamente de forma sinusoidal. Los físicos utilizan el término campo para describir las interacciones entre diferentes energías, fuerzas o masas que, de otra manera, sólo podrían describirse matemáticamente.

## LA LUZ

Cuando la luz solar atraviesa un prisma emerge no como luz solar blanca, sino con los colores del arco iris. La luz visible ocupa el fragmento más pequeño del espectro electromagnético y además es la única región que se puede percibir directamente.

La luz solar contiene también dos tipos de luz invisible: la infrarroja y la ultravioleta.

La luz infrarroja consiste en fotones cuyas longitudes de onda son mayores que las de la luz visible pero más cortas que las microondas. La luz infrarroja calienta cualquier sustancia en la que incide. Se puede considerar calor radiante.

La luz ultravioleta está localizada en el espectro electromagnético entre la luz visible y la radiación ionizante. Es la responsable de las interacciones moleculares que pueden causar quemaduras solares.

Las ondas de RF tienen muy poca energía y una longitud de onda muy larga. Las emisoras de radio de amplitud modulada (AM) habitualmente trabajan en longitudes de onda de alrededor de 100 m.

La televisión y las emisiones de frecuencia modulada (FM) se difunden con longitudes de onda mucho más cortas.

Debido a que las microondas también se utilizan para las comunicaciones, las emisiones por RF y microondas se solapan considerablemente. La RF de muy corta longitud de onda es la radiación de microondas. Las frecuencias de microondas varían de acuerdo con su uso, pero siempre son mayores que las RF de emisión por radio y menores que los infrarrojos. Las microondas tienen muchas aplicaciones, como las comunicaciones por teléfonos móviles, los radares de tráfico para controlar la velocidad en las carreteras, la diatermia médica y hasta cocinar alimentos.

### **Dualidad onda-partícula**

“La dualidad onda-corpúsculo, también llamada dualidad onda-partícula, postula que todas las partículas presentan propiedades de onda y partícula. Más específicamente:

Como partículas pueden presentar interacciones muy localizadas.

Como ondas exhiben el fenómeno de la interferencia.

De acuerdo con la física clásica existen diferencias entre onda y partícula. Una partícula ocupa un lugar en el espacio y tiene masa mientras que una onda se extiende en el espacio caracterizándose por tener una velocidad definida y masa nula.

Actualmente se considera que la dualidad onda-partícula es un “concepto de la mecánica cuántica según el cual no hay diferencias fundamentales entre partículas y ondas: las partículas pueden comportarse como ondas y viceversa”.

Un fotón de radiación X y un fotón de luz visible son fundamentalmente lo mismo, excepto en que la radiación X tiene una frecuencia mucho más alta y, por tanto, una longitud de onda más corta que la luz visible. Estas disparidades dan como resultado diferencias en la forma en que estos fotones interactúan con la materia. Los fotones de luz visible tienen tendencia a comportarse más como ondas que como partículas, en cambio, con los fotones de rayos X sucede lo contrario, es decir, se comportan más como partículas que como ondas.

De hecho, ambos tipos de fotones muestran los dos tipos de comportamiento. Este fenómeno se conoce como dualidad onda-partícula de la radiación.

Otra forma general de considerar la interacción de la radiación electromagnética con la materia es como una función de la longitud de onda.

Las ondas de radio y televisión, cuyas longitudes de onda se miden en metros, interactúan con varillas de metal o cables llamados antenas.

Las microondas, cuyas longitudes de onda se miden en centímetros, interactúan más fácilmente con objetos del mismo tamaño, como los alimentos.

La longitud de onda de la luz visible se mide en nanómetros (nm); la luz visible interactúa con las células vivas, como los bastones o los conos del ojo.

La luz ultravioleta interactúa con las moléculas y los rayos X, con los electrones y los átomos.

Toda radiación con longitudes de onda mayores que la radiación X actúa en primer lugar como un fenómeno ondulatorio.

### **Modelos corpuscular y ondulatorio**

En el siglo XVII se intentó matematizar aspectos empíricos de la Física inventando modelos que permitieran explicar y prever fenómenos diversos. Ello ocurrió, por ejemplo, con los fenómenos luminosos. En el caso de la luz, un modelo que tuvo algún éxito inicial y que fue apoyado por varios científicos de la época, *Newton* y *Descartes* entre ellos, fue el corpuscular. En él, se imaginaba a la luz como un haz de infinitas "partículas" que salían de la fuente. Esas partículas eran reflejadas de acuerdo con las leyes de la Mecánica, y llegaban a los ojos estimulando la sensación de la visión.

En la refracción, el fenómeno se explicaba admitiendo que las partículas llegaban viajando por un medio a cierta velocidad y al pasar a otro eran repelidas o atraídas cambiando la velocidad y la dirección.

Hacia 1678 *Huygens* (y también *Hooke*) presentaron un modelo ondulatorio para describir los fenómenos luminosos. En él postula la existencia de un medio para que la luz se propague (el éter) y allí cada punto vibra y es un emisor de ondas que llegan a otros puntos. Estos comienzan a vibrar también y producen más ondas que continúan de ese modo propagándose. Con este modelo también se explican fenómenos de reflexión y de refracción.

Sin embargo, hay una dificultad en estos desarrollos: el primer modelo predice en la refracción una velocidad mayor cuando la luz pasa del aire al vidrio. En el segundo, la velocidad sería menor en el mismo caso.

Recién en la mitad del siglo XIX, *Foucault* demostró en 1850 que la velocidad de la luz en el aire es mayor que en el agua, por lo que el modelo ondulatorio para esa época resultó más exitoso.

A fines del siglo XIX y principios del XX este modelo ondulatorio tan "mecánico" dejó paso a otro, en el que los nombres de *Maxwell* y *Hertz* cobran gran valor: un modelo ondulatorio pero con raíces eléctricas y magnéticas. Aquí la luz sería el resultado de la concatenación de campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo, que se propagan de acuerdo con leyes determinadas. Con esta nueva idea y con la contribución genial de Einstein en 1905 se descarta la idea del éter. La luz puede propagarse sin necesidad de un medio material.

Algún tiempo después, trabajos del mismo *Einstein* para explicar el "efecto fotoeléctrico" (un haz de luz de ciertas características al incidir sobre algunos metales arranca electrones de su superficie), vuelve a postular para la luz un nuevo modelo corpuscular. De acuerdo con él, la luz sería un haz de "fotones", algo así como "paquetes" de energía o "cuantos". Este modelo confirmado por los trabajos de *Planck*, deja hoy un interesante escenario: la luz tiene un comportamiento dual. Para algunos fenómenos se comporta como si fuera una onda y para otros como si fuera un corpúsculo.

### **Ley de la inversa del cuadrado**

Cuando la luz es emitida desde una fuente como el sol o una bombilla, la intensidad disminuye rápidamente con la distancia desde la fuente. Los rayos X muestran precisamente la misma propiedad. Este decaimiento

en intensidad es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el objeto y la fuente. Matemáticamente, esta propiedad recibe el nombre de ley de la inversa del cuadrado. La razón para la rápida disminución en intensidad con el aumento de la distancia es que la luz total emitida se dispersa sobre un área cada vez mayor. El equivalente a este fenómeno en la analogía de las ondas de agua es la reducción de la amplitud de las mismas con la distancia desde la fuente. La longitud de onda permanece constante. La intensidad de la energía electromagnética (radiación) es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde la fuente. Si la fuente de radiación no es un punto sino una línea, como una lámpara fluorescente, la ley de la inversa del cuadrado no se cumple para distancias cercanas a la fuente. Para distancias suficientemente grandes a la fuente se puede aplicar la ley de la inversa del cuadrado. La ley de la inversa del cuadrado puede aplicarse a distancias mayores de siete veces la magnitud mayor de la fuente.

La luz se propaga en línea recta La línea recta que representa la dirección y el sentido de la propagación de la luz se denomina rayo de luz (el rayo es una representación, una línea sin grosor, no debe confundirse con un haz, que sí tiene grosor). Un hecho que demuestra la propagación rectilínea de la luz es la formación de sombras.

Una sombra es una silueta oscura con la forma del objeto. Si un foco, grande o pequeño, de luz se encuentra muy lejos de un objeto produce sombras nítidas. Si un foco grande se encuentra cercano al objeto, se formará sombra donde no lleguen los rayos procedentes de los extremos del foco y penumbra donde no lleguen los rayos procedentes de un extremo pero sí del otro.

### **REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE LA LUZ**

La luz se encuentra sometida, como cualquier otra onda, a los fenómenos de reflexión y refracción.

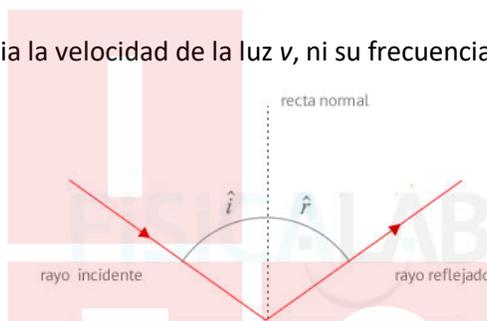


Cuando un rayo de luz se propaga en un medio transparente y llega a una superficie de separación con otro, también transparente, una parte sigue propagándose en el mismo medio, es decir, se refleja. Otra parte pasa al otro medio, es decir, se refracta. En esta imagen el haz de luz parte del foco abajo a la derecha. Al llegar a la superficie del líquido, además de continuar su camino hacia arriba por el aire refractándose, "rebota", es decir, se refleja de nuevo hacia abajo.

## Reflexión

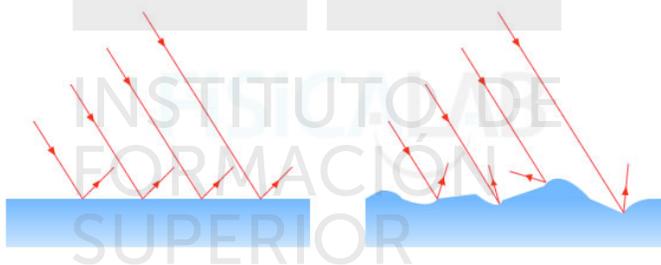
La **reflexión de la luz** es el cambio de dirección de los rayos de luz que ocurre en un mismo medio después de incidir sobre la superficie de un medio distinto. Se rige por dos principios o **leyes de la reflexión**:

- El rayo incidente, el reflejado y la normal a la superficie en el punto de incidencia están en el mismo plano
- El ángulo del rayo incidente  $i^\wedge$  y el de reflexión  $r^\wedge$  son iguales
- El ángulo que forman el rayo incidente y el reflejado con la normal a la superficie de separación (en color rojo) es el mismo.
- En la reflexión no cambia la velocidad de la luz  $v$ , ni su frecuencia  $f$ , ni su longitud de onda  $\lambda$ .



Atendiendo a las irregularidades que pueden existir en la superficie de reflexión, podemos distinguir dos tipos de reflexiones de la luz:

- **Reflexión especular:** Se produce cuando las irregularidades del medio son pequeñas en comparación con la longitud de onda de la luz incidente y se proyectan varios rayos sobre este.
- **Reflexión difusa:** Se produce cuando las irregularidades del medio son de un orden de magnitud comparable al tamaño de la longitud de onda de la luz incidente y se proyectan varios rayos sobre este



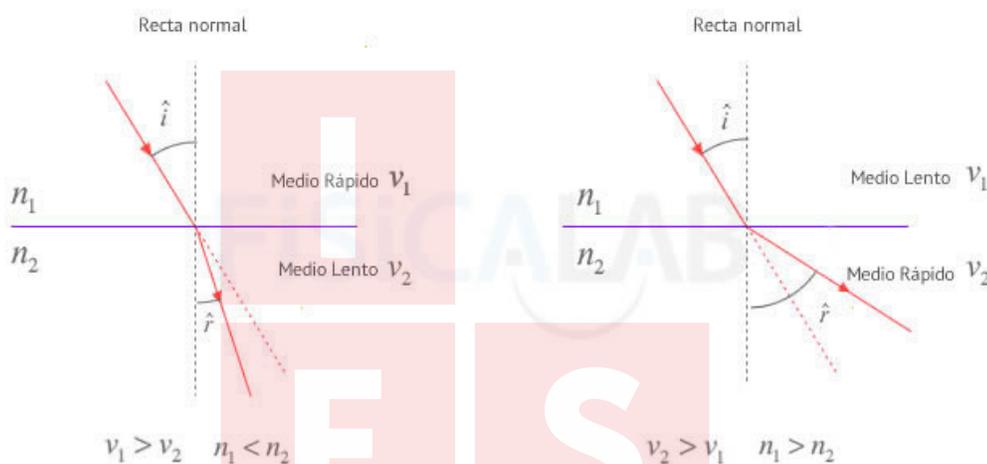
A la izquierda, la reflexión especular en la que los rayos se mantienen paralelos tras producirse la reflexión. A la derecha, la reflexión difusa donde los rayos se entrecruzan unos con otros en todas direcciones.

## Refracción

La **refracción de la luz** es el cambio de dirección de los rayos de luz que ocurre tras pasar estos de un medio a otro en el que la luz se propaga con distinta velocidad. Se rige por dos principios o **leyes de la refracción**:

- El rayo incidente, el refractado y la normal a la superficie en el punto de incidencia están en el mismo plano
- La ley de Snell de la refracción, que marca la relación entre el ángulo de incidencia  $\hat{i}$ , el de refracción  $\hat{r}$ , y los índices de refracción absolutos de la luz en los medios 1 y 2,  $n_1$  y  $n_2$ , según:

$$\sin \hat{i} / \sin \hat{r} = n_2 / n_1$$



La refracción de la luz ocurre cuando esta pasa de un medio transparente con un determinado índice de refracción a otro, también transparente, con uno distinto. Observa, en la imagen de la izquierda, que cuando la velocidad de propagación en el nuevo medio es menor, y por tanto es mayor el índice de refracción, el rayo se acerca a la normal. En la imagen de la derecha vemos el caso contrario, en el que el rayo se aleja de la normal.

No confundas el ángulo  $\hat{r}$  en los casos de reflexión y refracción. Hemos optado por darles el mismo nombre ya que lo habitual es que te centres en uno u otro fenómeno. Si vas a resolver un ejercicio en el que tengas que estudiar ambos a la vez, te recomendamos que cambies el nombre a cualquiera de ellos. Ten presente que el rayo reflejado permanece en el medio del rayo incidente. El rayo refractado, en cambio, pasa a uno distinto.

En la refracción no cambia la frecuencia de la luz  $f$ , ya que esta depende de la fuente, pero al hacerlo su velocidad  $v$ , debe cambiar también su longitud de onda  $\lambda$ . Dado que el color con el que percibimos la luz depende de la frecuencia, este no cambia al cambiar de medio.

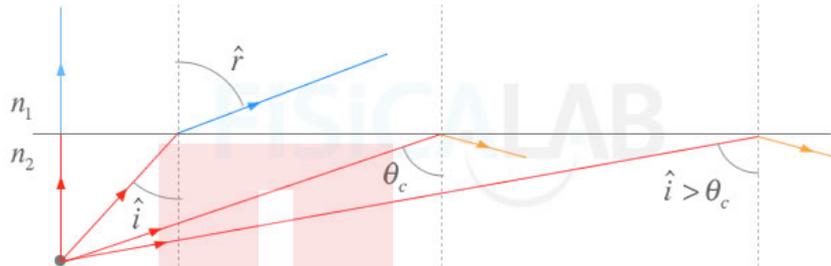
Recuerda que el índice de refracción depende de la longitud de onda, por lo que cuando un pulso de luz es policromático (está compuesto por varias longitudes de onda), al refractarse se produce la dispersión.

### Reflexión total y ángulo límite

En un medio con  $n_1 > n_2$ , a medida que aumentamos el ángulo de incidencia  $\hat{i}$  también lo va haciendo el de refracción  $\hat{r}$ , llegando un momento en el que el rayo refractado formará  $90^\circ$  con la normal, es decir, no habrá rayo refractado y sólo se observará el rayo reflejado.

Llamamos **ángulo crítico** o **ángulo límite** y lo denotamos por  $\vartheta_c$  al ángulo de incidencia en una superficie de separación entre dos medios con  $n_1 > n_2$  que hace que el ángulo refractado sea de  $90^\circ$ .

Decimos que se produce **reflexión total** o **reflexión interna total** en un medio con  $n_1 > n_2$  cuando no existe ángulo refractado y sólo existe rayo reflejado. Se produce para aquellos valores de ángulo incidente  $\hat{i}$  cuyo valor es mayor que el ángulo crítico  $\theta_c$ :



### Reflexión Interna Total

Si un rayo de luz incide con un ángulo menor que el ángulo crítico sufre reflexión y refracción. En cambio, cuando el ángulo de incidencia es mayor o igual que el ángulo crítico, como es el caso de los dos rayos más a la derecha, el rayo no se refracta, sólo se refleja, desplazándose únicamente en el mismo medio

El fenómeno de la reflexión total tiene numerosos usos pero uno de los ejemplos más extendidos es en **fibras ópticas**, ampliamente utilizadas en las telecomunicaciones y en la medicina (endoscopios). De una manera simplificada podemos decir que una fibra óptica no es más que un cable flexible de material transparente que cuenta con un índice de refracción tal que dicho índice es mayor que el índice de refracción del material que lo recubre. De esta manera, cuando se introduce un pulso de luz con un determinado ángulo de entrada en la fibra se consigue que quede confinado en su interior llegando al final sin apenas pérdida de intensidad, ya que todas las reflexiones que se producen cumplen la condición de reflexión total. Así, los ángulos posibles de entrada de rayos de luz a la fibra definen un cono de aceptación dentro del cual deben estar los rayos que se pretenda cumplan la condición de reflexión total en el interior de la fibra.

### Aplicaciones de las ondas electromagnéticas

#### Ondas Radio

El uso más habitual de las ondas de radio con efecto terapéutico se lleva a cabo mediante el uso de corrientes alternas de frecuencia superior a los 100 KHz. En la actualidad, las ondas de radio se emplean sobre todo en el tratamiento denominado onda corta. Aparte de su efecto térmico, la onda corta posee otros efectos como son el aumento de la circulación (hiperemia), aumento leucocitario pasajero y acción analgésica y antiinflamatoria.

#### Microondas

Las ondas microondas tienen muchas aplicaciones. Una de ellas es la de los hornos. Su funcionamiento se basa en el hecho de que la radiación electromagnética de muy alta frecuencia tiene mucha energía, por lo que hay una transferencia de calor muy grande a los alimentos en poco tiempo. Las comunicaciones y el radar son otras dos aplicaciones de las microondas.

#### Infrarrojos

Los rayos infrarrojos se utilizan comúnmente en nuestra vida cotidiana: cuando encendemos el televisor y

cambiamos de canal con nuestro mando a distancia; en el supermercado, nuestros productos se identifican con la lectura de los códigos de barras; vemos y escuchamos los discos compactos... todo, gracias a los infrarrojos. Estas son sólo algunas de las aplicaciones más simples, ya que se utilizan también en sistemas de seguridad, estudios oceánicos, medicina, etc.

### **Luz visible**

Se denomina espectro visible a la región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir. A la radiación electromagnética en este rango de longitudes de onda se le llama luz visible o simplemente luz. No hay límites exactos en el espectro visible; un típico ojo humano responderá a longitudes de onda desde 400 a 700 nm aunque algunas personas pueden ser capaces de percibir longitudes de onda desde 380 a 780 nm.

Los ojos de muchas especies perciben longitudes de onda diferentes de las del espectro visible del ojo humano. Por ejemplo, muchos insectos, tales como las abejas pueden ver la luz ultravioleta que es útil para encontrar el néctar en las flores. Por esta razón, los éxitos reproductivos de las especies de plantas cuyos ciclos de vida están vinculados con la polinización de los insectos, dependen de que produzcan emisión ultravioleta, más bien que del colorido aparente a los ojos humanos.

### **Rayos X**

Los rayos X se emplean sobre todo en los campos de la investigación científica, la industria y la medicina. El estudio de los rayos X ha desempeñado un papel primordial en la física teórica, sobre todo en el desarrollo de la mecánica cuántica. Como herramienta de investigación, los rayos X han permitido confirmar experimentalmente las teorías cristalográficas. Utilizando métodos de difracción de rayos X es posible identificar las sustancias cristalinas y determinar su estructura.

Existen además otras aplicaciones de los rayos X, entre las que figuran la identificación de gemas falsas o la detección de mercancías de contrabando en las aduanas; también se utilizan en los aeropuertos para detectar objetos peligrosos en los equipajes. Los rayos X ultrablandos se emplean para determinar la autenticidad de obras de arte y para restaurar cuadros.

En la radioterapia se emplean rayos X para tratar determinadas enfermedades, en particular el cáncer, exponiendo los tumores a la radiación.

### **Rayos gamma:**

Los rayos gamma provenientes del cobalto 60 se utilizan para esterilizar instrumentos que no pueden ser esterilizados por otros métodos, y con riesgos considerablemente menores para la salud. Los rayos gamma también son utilizados en la radioterapia.

### **Ventajas e inconvenientes de las ondas electromagnéticas.**

La principal ventaja de las ondas electromagnéticas es que tienen muchas utilidades. Son utilizadas en el campo de la comunicación, en medicina, la industria. Sin embargo, también tienen algunos inconvenientes como los efectos perjudiciales de algunas de ellas sobre la salud. Los efectos sobre la salud de las ondas electromagnéticas son muy variados en función de su frecuencia; es decir, de la energía que portan sus fotones. Abarcan desde los efectos nulos, para muy bajas frecuencias, hasta efectos gravísimos en el caso de los rayos gamma o de los rayos cósmicos. Aparte de los efectos bioquímicos, las ondas electromagnéticas,

presentan claros aspectos biofísicos. En el rango de frecuencias que nos importa el efecto térmico es manifiesto y su influencia en la salud innegable. El efecto térmico es debido a que todo campo electromagnético variable, y una onda es eso, induce corrientes eléctricas, y éstas a su vez disipan energía, en mayor o menor cuantía dependiendo de los coeficientes de conductividad e inducción. La disipación de energía contribuye evidentemente a la elevación de la temperatura, que será de forma local o general dependiendo de que la irradiación sea local o general.

## **RADIACIONES**

### **1. Nociones básicas sobre radiación**

La radiación está por doquier; vivir en este planeta significa estar expuesto a la radiación natural. La radiación artificial se ha utilizado con éxito durante los últimos siglos para el diagnóstico y el tratamiento médico de diversas patologías.

La radiactividad no solo está presente en el cosmos y en nuestro entorno. Incluso los elementos que componen nuestro cuerpo se encuentran en la naturaleza en distintas variantes —conocidos como isótopos— algunas de las cuales son radiactivas, por ejemplo los radioisótopos del potasio, el cesio y el radio. Al igual que la luz visible, la radiación es de naturaleza electromagnética. Si es lo suficientemente potente como para romper enlaces moleculares, ionizando así la materia (el proceso durante el cual un átomo o una molécula neutros pierden o ganan electrones para formar iones), recibe el nombre de “radiación ionizante”. Los enlaces moleculares pueden producirse en cualquier material, incluso en los elementos esenciales de la vida: el ADN.

Se ha demostrado que las alteraciones en las moléculas de ADN debidas a la radiación ionizante pueden dar lugar a células biológicas mutadas. Aunque la inmensa mayoría de estas mutaciones no son peligrosas para la salud humana, existe una pequeña probabilidad de que algunas puedan causar cáncer. Por este motivo, es fundamental entender cómo interactúa la radiación con la materia biológica.

La radiación ionizante puede penetrar profundamente objetos sólidos. Esta característica es la base para la radiología de diagnóstico y la radioterapia. Los rayos X, una de las formas de la radiación ionizante, se emiten desde un dispositivo de irradiación situado a un lado del objeto. Unos detectores adecuados ubicados al otro lado del objeto detectan la radiación que lo atraviesa. Este proceso puede utilizarse para producir una imagen que muestre las estructuras internas del objeto irradiado sin necesidad de abrirlo. Cuando este proceso se aplica en medicina, en un campo especializado denominado radiología de diagnóstico, permite obtener, con una intervención mínima, imágenes de las estructuras internas del cuerpo humano.

En medicina nuclear, los profesionales sanitarios inyectan a los pacientes una sustancia radiactiva que se acumula en una parte dada del cuerpo humano. Al detectar la radiación que sale del cuerpo, pueden extraer conclusiones sobre las funciones fisiológicas de la anatomía. En la radioterapia, la radiación penetra el cuerpo en dirección a los tumores y los destruye.

Las fuentes naturales representan alrededor del 80 % de la dosis media anual mundial a la que están expuestas las personas. La mayor fuente artificial de exposición para los humanos es la radiación con fines médicos, cuya contribución a la dosis media anual total ronda el 20 %, es decir, aproximadamente la mitad de la contribución del mayor componente natural —la inhalación de radón en los edificios— a la dosis media anual.

Por este motivo, es importante reducir al mínimo las exposiciones médicas a la radiación ionizante injustificadas. Esto se consigue mejorando los procesos de justificación y optimización de las exposiciones. La justificación requiere que solamente se exponga a la persona a la radiación cuando esto le reporte un

beneficio neto claro. Los procesos de optimización, por su parte, reducen hasta el mínimo posible y razonable la dosis de radiación que se utiliza para lograr un diagnóstico o un resultado terapéutico específico.

Las radiaciones electromagnéticas se clasifican en dos grandes grupos en función de su energía, o dicho de otra manera en función del tipo de cambios que provocan en los átomos con los que interaccionan.

De todas las radiaciones electromagnéticas mostradas en el esquema del espectro electromagnético sólo los rayos X y los rayos gamma tienen suficiente energía como para producir fenómenos de ionización en los átomos, es decir son **radiaciones ionizantes**. El resto de las radiaciones electromagnéticas (ondas de radio, microondas, rayos infrarrojos, luz visible, rayos ultravioleta) son **radiaciones no ionizantes**.

### Radiación ionizante natural y artificial

#### **Las radiaciones ionizantes de origen natural**

La radiación ionizante forma parte de nuestra vida cotidiana, ya que es un agente natural con el que convivimos. Es más, como dijo Eric J. Hall, Profesor de la Universidad de Columbia: "La vida en la tierra se ha desarrollado en presencia de radiación. No es nada nuevo, inventado por el hombre. La radiación siempre ha estado aquí".

La radiación ionizante natural (o de fondo) puede tener orígenes muy diversos: los rayos cósmicos, la tierra, el cuerpo humano o el aire que respiramos.

#### **¿Alguna vez te ha caído encima un rayo de partículas de alta energía? Seguro que sí, ocurre todo el tiempo...**

Esta clase de lluvia de partículas de alta energía se produce cuando rayos cósmicos energéticos golpean la parte superior de la atmósfera terrestre.

Los **rayos cósmicos** se descubrieron en 1912 por el físico austriaco Victor Hess. 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 interaccionan en la atmósfera terrestre con elementos estables, se producen los denominados radionucleidos cosmogénicos. Estos radionucleidos 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 radionucleidos en la Tierra.

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 6.000 pies de altitud, o 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.

Cerca del 10 % de la exposición anual a las radiaciones ionizantes de origen natural procede del espacio exterior.

### **El aire que respiramos es naturalmente radiactivo**

El aire que respiramos contiene un gas radiactivo llamado radón, el cual se produce cuando hay una desintegración del elemento radiactivo uranio, que se encuentra en la corteza terrestre. El radón es un gas invisible, inodoro, insípido, 7 veces más pesado que el aire. Cuando el radón escapa al aire libre se dispersa rápidamente y sus concentraciones son bajas. 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. Uno de los principales riesgos asociados con la exposición a radón es el aumento en la incidencia de cáncer de pulmón.

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 uranio. El uranio natural U-238 (no debe confundirse con el U-235, que usan las centrales nucleares) se puede convertir en radio (como descubrió el matrimonio Curie) y éste libera radón. Por tanto, en los terrenos con mayor cantidad de granito habrá más producción de gas radón. El radón es el responsable de casi la mitad de las dosis de radiación natural total que recibimos.

### **Y nuestro cuerpo...también es radiactivo**

Los materiales radiactivos naturales existentes en la corteza terrestre son absorbidos por las plantas y los animales y se disuelven en el agua. Por tanto los alimentos y líquidos que ingerimos contienen cantidades variables, aunque pequeñas, de isótopos radiactivos. Algunos alimentos contienen más radiactividad que otros y las personas que toman grandes cantidades de ellos pueden recibir por tanto mayor dosis. Estos alimentos incluyen nueces de Brasil, té, café y pan. Esto no significa que deban evitarse estos alimentos ya que la dosis resultante es muy pequeña y no hay evidencia de riesgo para la salud. En realidad una dieta basada en una radiactividad mínima representaría un riesgo mucho mayor debido a una nutrición inadecuada.

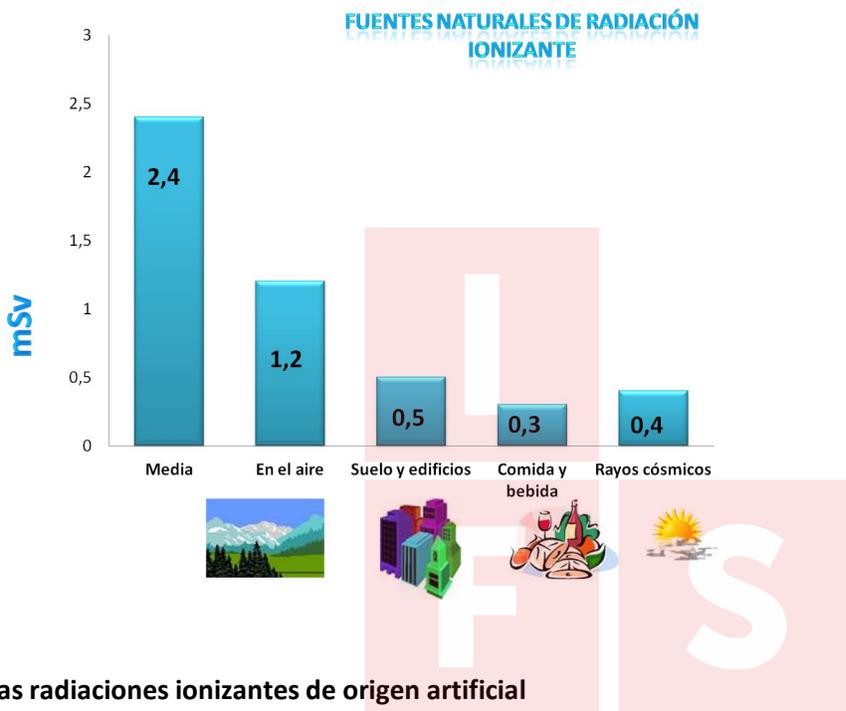
### **Radiación terrestre**

Puesto que en la corteza terrestre existen materiales radiactivos naturales, estamos expuestos a radiación directamente del suelo y de las rocas superficiales. También podemos recibir radiación procedente de los materiales de construcción, como ladrillos y hormigón, hechos a base de materiales extraídos 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 procedentes de la desintegración del uranio, el uranio 238 (U-238) y torio 232 (Th-232).

Una característica distintiva de la radiación natural es que afecta a toda la población con una intensidad relativamente constante a lo largo del tiempo.

En la siguiente gráfica se muestra la dosis total de radiación ionizante natural recibida al año (por término medio) y cómo contribuyen a esta dosis las distintas fuentes.

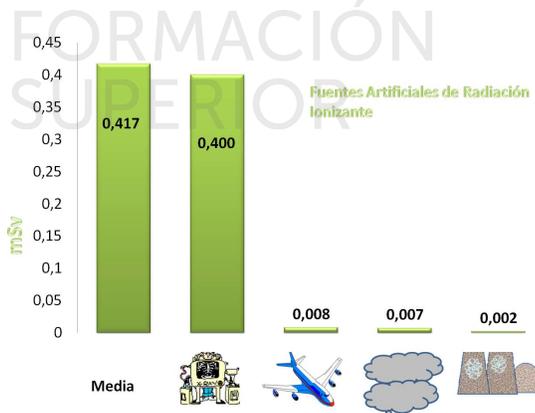


**Las radiaciones ionizantes de origen artificial**

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.

Las fuentes artificiales de radiaciones ionizantes pueden ser controladas más eficazmente que las fuentes naturales y de este control se encarga la protección radiológica



## **El descubrimiento de las radiaciones ionizantes artificiales**

A finales de 1930 los experimentos más comunes en física nuclear en Europa consistían en poner en contacto una sustancia radiactiva y otra inerte (no radiactiva) y estudiar lo que sucedía. Dos investigadores alemanes, **Walter Bothe y Herbert Becker**, bombardearon un fragmento de berilio con partículas alfa procedentes de una fuente de radio, observando que se producía una radiación muy penetrante, capaz de atravesar 2 cm de plomo.

Muchos investigadores, entre ellos **Frédéric e Irène Joliot-Curie**, pensaron que se trataba de una nueva clase de radiación gamma. A principios de 1932 el matrimonio Joliot comenzó a trabajar con una fuente de polonio (elemento descubierto por los padres de Irene, Marie y Pierre Curie). En sus experimentos irradiaban aluminio con las partículas alfa de su fuente de polonio y observaron que se producía una radiación muy penetrante y de vida larga, que no se podía explicar con los conocimientos de entonces. Dicha radiación se detectaba aún después de suprimir la fuente emisora de partículas alfa y su intensidad disminuía siguiendo una ley exponencial. Habían realizado uno de los descubrimientos más importantes de la ciencia: el de la **radiactividad artificial**.

## **Radiaciones ionizantes y no ionizantes**

### **Clasificación de las radiaciones**

Las radiaciones, atendiendo a su energía, se clasifican en radiaciones ionizantes y no ionizantes.

**Radiaciones ionizantes.** Corresponden a las radiaciones de mayor energía (menor longitud de onda) dentro del espectro electromagnético. Tienen energía suficiente como para arrancar electrones de los átomos con los que interaccionan, es decir, para producir ionizaciones.

### **Radiaciones no ionizantes**

Las radiaciones no ionizantes son de baja energía, es decir, no son capaces de ionizar la materia con la que interaccionan. Estas radiaciones se pueden clasificar en dos grandes grupos:

**Radiaciones electromagnéticas.** A este grupo pertenecen las radiaciones generadas por las líneas de corriente eléctrica o por campos eléctricos estáticos. Otros ejemplos son las ondas de radiofrecuencia, utilizadas por las emisoras de radio y las microondas utilizadas en electrodomésticos y en el área de las telecomunicaciones.

**Radiaciones ópticas.** Pertenecen a este grupo los rayos infrarrojos, la luz visible y la radiación ultravioleta.

La Radiación Solar forma parte de este grupo, el Sol proporciona la energía necesaria para que exista vida en la Tierra. El Sol emite radiaciones a lo largo de todo el espectro electromagnético, desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación solar alcanza la superficie de la Tierra, porque las ondas ultravioletas más cortas son absorbidas por los gases de la atmósfera, fundamentalmente por el ozono.

## Tipos de radiación emitida por el Sol

**Infrarroja.** Esta parte del espectro está compuesta por rayos invisibles que proporcionan el calor que permite mantener la Tierra caliente.

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 ( $0^\circ$  Kelvin o  $-273,15^\circ$  Celsius) emitirá radiación infrarroja.

Los infrarrojos fueron descubiertos en 1800 por Herschel, este colocó un termómetro de mercurio en el espectro obtenido por un prisma de cristal con el fin de medir el calor emitido por cada color. Descubrió que el calor era más fuerte al lado del rojo del espectro y observó que allí no había luz. Ésta es la primera experiencia que muestra que el calor puede transmitirse por una forma invisible de luz. Herschel denominó a esta radiación "rayos calóricos", denominación bastante popular a lo largo del siglo XIX que, finalmente, fue dando paso al término más moderno de 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.

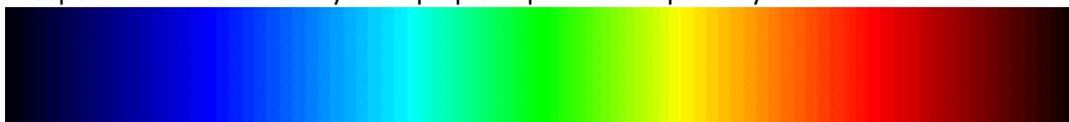
Un uso muy común es el que hacen los mandos a distancia (telecomandos), que generalmente utilizan los infrarrojos en vez de ondas de radio ya que éstos no interfieren con otras señales como las señales de televisión. Los infrarrojos también se utilizan para comunicar a corta distancia los ordenadores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

Otra de las muchas aplicaciones de la radiación infrarroja es la del uso de equipos emisores de infrarrojo en el sector industrial. En este sector los infrarrojos tienen múltiples aplicaciones, como por ejemplo: el secado de pinturas, barnices o papel; termo-fijación de plásticos; precalentamiento de soldaduras; curvatura; templado y laminado del vidrio, entre otras.

Existe un sistema de calefacción que utiliza los rayos infrarrojos, es el conocido como calor verde. Las placas emiten rayos infrarrojos que penetran en la superficie de los objetos calentándolos. El rayo infrarrojo de la calefacción verde no calienta el aire como lo hace el resto de sistemas. El calor verde reduce el gasto de energía entre un 30% y un 50% respecto a los sistemas tradicionales de calefacción.

**Visible.** Esta parte del espectro, que puede detectarse con nuestros ojos, nos permite ver y proporciona la energía a las plantas para producir alimentos mediante la fotosíntesis.

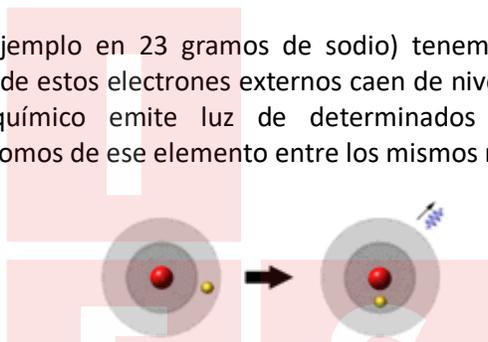
El espectro visible constituye una pequeña parte del espectro y estos son sus colores:



La luz visible está formada por vibraciones electromagnéticas con longitudes de onda que van aproximadamente de 350 a 750 nanómetros (1 nm=1 millonésimas de metro). Lo que conocemos como luz blanca es la suma de todas las ondas comprendidas entre esas longitudes de onda, cuando sus intensidades son semejantes.

La luz se forma por saltos de los electrones en los orbitales de los átomos. Como sabes, los electrones poseen la extraña cualidad de moverse en determinados orbitales sin consumir energía, pero cuando caen a un orbital inferior de menor energía (más próximo al núcleo) emiten energía en forma de radiación. Algunos de esos saltos producen radiación visible que llamamos luz, radiación que ven nuestros ojos en su manifestación de color.

En un mol de materia (por ejemplo en 23 gramos de sodio) tenemos  $6,023 \cdot 10^{23}$  átomos, con muchos electrones girando. Si millones de estos electrones externos caen de nivel, se emite radiación suficiente para ser vista. Cada elemento químico emite luz de determinados colores, su espectro, porque los electrones saltan en todos los átomos de ese elemento entre los mismos niveles permitidos.



La frecuencia de la luz emitida depende de la diferencia de energía de los niveles entre los que salta el electrón. La cantidad de radiación que emite un cuerpo depende de su temperatura.

Los cuerpos sólidos emiten prácticamente todo tipo de radiaciones -todo el espectro- ya que al tener átomos y enlaces muy diversos los tránsitos energéticos permitidos son muy variados. Al aumentar la temperatura el máximo de la intensidad radiada se produce a menores longitudes de onda.

Todos emitimos radiaciones. Los animales de sangre caliente emiten en el infrarrojo. La piel detecta otras radiaciones de mayor longitud de onda que la luz: las radiaciones caloríficas.

En el sol hay cantidades enormes de átomos de elementos muy diversos que emiten radiaciones y el conjunto total de esas radiaciones produce la luz blanca.

En la Tierra también producimos luz pero el mecanismo interno de producción siempre es el mismo: los saltos de los electrones entre los diferentes niveles de energía (orbitales).

La luz se mueve en el vacío aproximadamente a 300.000 km/s, y mientras no interactúa con la materia y llega a nuestros ojos no la vemos. El espacio está lleno de luz y sin embargo lo vemos oscuro.

Cuando una radiación luminosa incide sobre un cuerpo parte de la luz se refleja, parte se transmite a través de él y el resto, correspondiente a determinadas longitudes de ondas, es absorbida por el cuerpo.

Dentro de las sustancias transparentes la luz va a menor velocidad que en el vacío y una parte de ella siempre es absorbida debido a su interacción con los electrones de la materia. Podemos ver la luz difundida por la superficie (luz reflejada) o la transmitida por el cuerpo si es traslúcido. Al interactuar la luz con la materia es cuando se produce el color.

Al conjunto de radiaciones que tienen frecuencias muy próximas le damos el nombre correspondiente al color con que el ojo humano las identifica. Así, a las radiaciones agrupadas en torno a los 600 nm se las denomina color amarillo. Las que rondan el extremo del visible, próximas a 350nm, son las violeta etc. Más pequeñas, y ya no visibles por el ojo, son las ultravioleta que ya no son colores, son sólo radiación.

El color que emite la superficie de las sustancias coloreadas (lo que vemos) se llama color superficial. Parte de la radiación se refleja y parte es absorbida por el cuerpo. Si el cuerpo es una lámina fina puede que la radiación lo atraviese. Así una laminilla de oro se ve amarilla por la luz que refleja (rojo, anaranjado, amarillo)

y al trasluz se ve azul-verdoso porque transmite el resto del espectro. Los componentes que se absorben por los cuerpos producen los colores de las mezclas sustractivas.

Una pantalla blanca refleja todas las radiaciones. Podemos ver sobre ella la mezcla de colores aditivos si separamos parte de la radiación antes de que llegue y dejamos que el resto se mezcle. Esto es lo que llamamos mezcla aditiva.

El color de un cuerpo depende de

- la naturaleza de su superficie
- del tipo de luz que lo ilumina

Un objeto sólo se ve con su propio color si se ilumina con luz blanca o con luz de su mismo color.

Los aspectos del color superficial son:

**Matiz o tonalidad.**- Se refiere al nombre del color, al tipo de longitud de onda de la radiación. Como no es una radiación concreta ( un color es un conjunto de radiaciones próximas) no es un valor cuantitativo y se da (cualitativamente) por descripción, matiz verde, rojo, púrpura, etc. según la longitud de onda dominante. Al existir un matiz tienen que existir también brillo y saturación.

**Brillo.**- Es la intensidad subjetiva con la que vemos el color (captación de la intensidad luminosa reflejada). Depende del ángulo con que miremos la superficie. La luz blanca no tiene matiz (no tiene color), pero tiene brillo.

**Saturación.**- Es la pureza del color. Dentro de un mismo color rojo podemos distinguir entre un rojo pálido o un rojo fuerte según su distinta saturación. Cuanto más blanco contiene menos saturado está el color: el rosa pálido está poco saturado.

**Ultravioleta.** No podemos ver esta parte del espectro, pero puede dañar nuestra piel si no está bien protegida, pudiendo producir desde quemaduras graves hasta cáncer de piel.

### La Radiación Ultravioleta

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. Hay una serie de factores que afectan de manera directa a la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre; estos son:

Ozono atmosférico	Elevación solar
Altitud	Reflexión
Nubes y polvo	Dispersión atmosférica

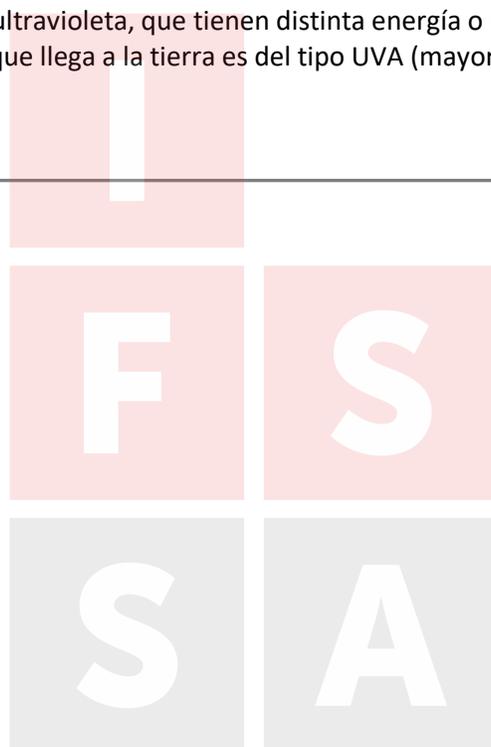
El **Índice UV** es una unidad de medida de los niveles de radiación ultravioleta relativos a sus efectos sobre la piel humana. Este índice puede variar entre 0 y 16 y tiene cinco rangos:

Índice UV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 ó mayor
	Bajo		Moderado		Alto			Muy alto		Extremado	

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.

Existen tres tipos de radiación ultravioleta, que tienen distinta energía o longitud de onda: UVA, UVB y UVC.

La mayoría de la radiación UV que llega a la tierra es del tipo UVA (mayor longitud de onda), con algo de UVB.



INSTITUTO DE  
FORMACIÓN  
SUPERIOR

### **UNIDAD N° 3: TIPOS DE RADIACIONES, SUS CARACTERÍSTICAS E INTERACCIONES**

#### **Radiaciones ionizantes**

Como se ha comentado anteriormente, las radiaciones ionizantes son aquellas que tienen suficiente energía para arrancar un electrón del átomo cuando interactúan con él, este fenómeno es conocido como ionización, de ahí la denominación de este tipo de radiaciones.

#### **El átomo y las radiaciones ionizantes**

Si queremos comprender qué son las radiaciones ionizantes, tenemos que adentrarnos en la unidad más pequeña de un elemento químico que mantiene su identidad o sus propiedades y que no es posible dividir mediante procesos químicos: **EL ÁTOMO**.

Retomando y ampliando el concepto visto al principio podemos decir que el átomo está formado por un núcleo, compuesto a su vez por **protones** y **neutrones** y por una corteza que lo rodea, en la cual se encuentran los **electrones**. Las partículas subatómicas que componen el átomo no pueden existir aisladamente salvo en condiciones muy especiales.

El **protón** fue descubierto por **Ernest Rutherford** a principios del siglo XX. Es una partícula elemental que constituye parte del núcleo de cualquier átomo. El número de protones en el núcleo atómico, denominado **número atómico (Z)**, es el que determina las propiedades químicas del átomo en cuestión. Los protones poseen carga eléctrica positiva y una masa 1.836 veces mayor de la de los electrones.

El **neutrón**, partícula elemental que constituye parte del núcleo de los átomos, fue descubierto en 1930 por dos físicos alemanes, **Walter Bothe** y **Herbert Becker**. La masa del neutrón es ligeramente superior a la del protón, pero el número de neutrones en el núcleo no determina las propiedades químicas del átomo, aunque sí su estabilidad frente a posibles procesos nucleares (fisión, fusión o emisión de radiactividad). Los neutrones carecen de carga eléctrica y son inestables cuando se hallan fuera del núcleo, desintegrándose para dar un protón, un electrón y un antineutrino. El número de protones más el de neutrones en el núcleo del átomo constituye el **número másico (A)**.

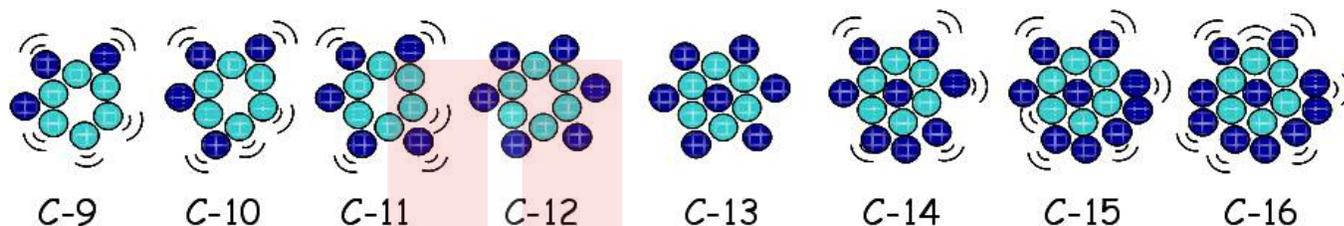
El **electrón** fue descubierto en 1897 por **J. J. Thomson**. La masa del electrón es 1836 veces menor que la del protón y tiene carga opuesta, es decir, negativa. Los electrones se mueven en órbitas difusas rodeando al núcleo a diferentes distancias de él, de acuerdo a la energía que poseen, para formar el diámetro atómico. Estas distancias son enormes comparadas con el tamaño del núcleo, de manera que para un elemento de diámetro atómico medio, si consideramos su núcleo de las dimensiones de una nuez, la nube electrónica puede tener las dimensiones de un estadio de fútbol. En condiciones normales un átomo tiene el mismo número de protones que de electrones, lo que convierte a los átomos en entidades eléctricamente neutras. Si un átomo capta o pierde electrones, se convierte en un **ión**.

Cada elemento químico tiene un número fijo de protones, pero su número de neutrones puede variar, de manera que un mismo elemento puede existir en la naturaleza con diferente relación protones/neutrones en su núcleo, son los denominados **isótopos**.

Por tanto los **isótopos** son átomos de un mismo elemento, cuyos núcleos tienen una cantidad diferente de neutrones y, por lo tanto, difieren en masa. La mayoría de los elementos químicos poseen más de un

isótopo. Solamente 21 elementos (ejemplos: berilio, sodio) poseen un solo isótopo natural; en contraste, el estaño es el elemento con más isótopos estables (se conocen 10 isótopos).

Otros elementos tienen isótopos naturales, pero inestables, ya que poseen un número de neutrones mayor o menor que el número de protones en el núcleo. En la figura se muestra como ejemplo el átomo de carbono (C). Los C-12 y C-13 son isótopos estables, mientras que los otros (C-9, C-10, C-11, C-14, C-15 y C-16) son isótopos inestables del carbono



Los núcleos inestables, con exceso de energía, siempre tienden a estabilizarse, por lo que tarde o temprano liberan el exceso de energía, sufriendo una transformación (o desintegración). Así pues, durante la transformación se libera una gran cantidad de energía en forma de **radiaciones ionizantes**, conociéndose a este fenómeno con el nombre de **radiactividad**, es decir la radiactividad es la propiedad de ciertas sustancias cuyos átomos al desintegrarse en forma espontánea producen radiación. Este fenómeno de carácter físico posibilita la impresión de placas fotográficas, la generación de fluorescencias o la ionización de gases, entre otras cuestiones. La radiactividad tenemos que exponer que tiene su origen en el siglo XIX y más concretamente en el año 1896 pues fue cuando el físico francés Henri Becquerel (ganador del Premio Nobel de Física en 1903) la descubrió por casualidad. Y es que el mismo se encontraba trabajando en los fenómenos de la fosforescencia y la fluorescencia con un mineral que contenía uranio, el cristal de Pechblenda.

Así, a partir de aquel y por la pura casualidad de que un día de sol descubrió que la placa fotográfica con la que operaba, junto al citado uranio, estaba velada a pesar de que no haber recibido los rayos del Astro Rey, fue como comprendió que ese cristal citado poseía radiación.

Este científico fue el pionero pero no obstante sería la gran física y química polaca Marie Curie la que establecería el término de radiactividad. En concreto, a partir del estudio del citado Becquerel, ella y su esposo desarrollaron numerosos estudios descubrieron, por ejemplo, la radiactividad del torio.

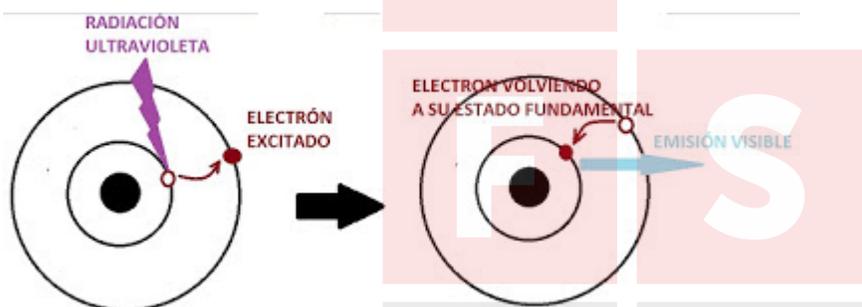
Pero ese fue sólo el punto de partida pues a partir de ahí siguieron trabajando y encontraron otros elementos químicos que también compartían dicha cualidad. Este sería el caso del radio o del polonio. Un elemento este último que curiosamente recibió su nombre en honor a la patria de Marie.

El resultado de todo ello fue no sólo el descubrimiento de la radiactividad sino también la obtención de esta mujer, junto a su marido y a Becquerel, del Premio Nobel de Física en el año 1903.

FOSFORESCENCIA Y FLUORESCENCIA - Similitudes y diferencias

Tanto la fosforescencia como la fluorescencia tienen el mismo proceso por el cual emiten luz.

Ambos compuestos tienen una estructura molecular que le permite absorber una determinada longitud de onda de luz (en este caso absorbe luz ultravioleta). Esta energía absorbida, excita los electrones de las capas más externas de los átomos que componen el compuesto, haciendo que pasen a orbitales de energía (círculos que rodean al núcleo del átomo) superiores de mayor energía. Pero esta situación no es estable, y el átomo de la molécula tiende a recuperar su estado original, devolviendo el electrón excitado a su orbital de menor energía **liberando, a su vez, parte de la energía absorbida en forma de radiación con una longitud de onda diferente a la ultravioleta** que absorbió, en este caso en el rango de la luz visible y, de ahí, que podamos ver como brillan.



La capacidad de almacenar la energía es la diferencia entre ambos fenómenos.

La fluorescencia **absorbe la energía de la luz ultravioleta e, inmediatamente, emite la radiación luminosa**. Así funcionan, por ejemplo, las lámparas fluorescentes. La descarga eléctrica al encenderla hace que el mercurio que hay en el interior de estos focos emita una luz, luz ultravioleta, pero hay una capa de fósforo que absorbe esa luz y la reemite en una longitud de onda que sí podemos ver y que nos ilumina la habitación. Otro ejemplo, para los más científicos, sería por ejemplo la detección de bandas de ADN en un gel de agarosa. El bromuro de etidio absorbe la radiación UV de la campana y "brilla" por emisión de parte de la energía absorbida, y es lo que nos permite ver las bandas.

En el caso de la fosforescencia, comienza igual, absorbiendo la radiación ultravioleta, pero almacena la energía, retardando la posterior emisión, siendo **capaces de emitir esa radiación luminosa poco a poco durante minutos u horas después de haber cesado la fuente de radiación** excitadora inicial. Los ejemplos más conocidos de este efecto son el de las agujas de los relojes que brillan en la oscuridad, o esas pegatinas de estrellas y planetas que poníamos en el techo de nuestras habitaciones para cuando, al apagar la luz, pareciera que teníamos el cielo en nuestro techo. También utilizada esta tecnología para, como vemos en la foto, mostrar los carteles de "EXIT" o de extintores tras un apagón en un edificio.

Existe un fenómeno parecido, que ocurre en la naturaleza. Se conoce como **bioluminiscencia**, solo que en este caso la energía que excita los electrones, provienen de la liberada en una reacción química, no por absorción de energía ultravioleta.

### FAMILIAS RADIATIVAS Y SEMIVIDA

Lógicamente cada núcleo inestable emitirá su exceso de energía de forma diferente, es decir producirá distintos tipos de radiaciones ionizantes, también hay que tener en cuenta el grado de inestabilidad, es decir el número de neutrones en exceso o en defecto respecto al número de protones en el núcleo, ya que cuanto más se aleje el número de neutrones de la configuración estable, más intensa será la tensión y mayor la velocidad con la que el núcleo liberará el exceso de energía.

Cuando se produce la desintegración espontanea de los átomos de un determinado componente, no siempre se llega después de la primera desintegración a un átomo estable sino que, casi siempre, deben producirse varias desintegraciones, a ese conjunto de núcleos de un mismo átomo que se forma partiendo de la desintegración de uno inicial inestable se le llama familia radiactiva, Existen tres familias radiactivas:

**Familia del uranio-238** : Esta parte de un núcleo de uranio U con  $A=238$  y  $Z=92$  y termina en el núcleo de plomo Pb con  $A=206$  y  $Z=82$ .

**Familia del actinio (uranio-235)**: Parte de un núcleo de uranio U con  $A=235$  y  $Z=92$  y termina en el núcleo de plomo Pb con  $A=207$  y  $Z=82$ .

**Familia del torio**: Parte del núcleo de torio Th con  $A=232$  y  $Z=90$  y termina en el núcleo de plomo Pb con  $A=208$  y  $Z=82$ .

### DESINTEGRACIÓN

Los núcleos están compuestos por protones y neutrones, que se mantienen unidos por la denominada fuerza fuerte. Algunos núcleos tienen una combinación de protones y neutrones que no conducen a una configuración estable. Estos núcleos son inestables o radiactivos. Los núcleos inestables tienden a aproximarse a la configuración estable emitiendo ciertas partículas. Los tipos de desintegración radiactiva se clasifican de acuerdo a la clase de partículas emitidas.

**Desintegración alfa**: El elemento radiactivo de número atómico  $Z$ , emite un núcleo de Helio (dos protones y dos neutrones), el número atómico disminuye en dos unidades y el número másico en cuatro unidades, produciéndose un nuevo elemento situado en el lugar  $Z-2$  de la Tabla Periódica.

**Desintegración beta**: El núcleo del elemento radiactivo emite un electrón, en consecuencia, su número atómico aumenta en una unidad, pero el número másico no se altera. El nuevo elemento producido se encuentra el lugar  $Z+1$  de la Tabla Periódica.

**Desintegración gamma**: El núcleo del elemento radiactivo emite un fotón de alta energía, la masa y el número atómico no cambian, solamente ocurre un reajuste de los niveles de energía ocupados por los nucleones.

De la observación del proceso de desintegración podemos extraer las siguientes relaciones cualitativas:

- La velocidad de desintegración decrece a medida que los núcleos radiactivos se van desintegrando.
- No podemos predecir en que instante se desintegrará un núcleo concreto, ni qué núcleo se va a desintegrar en un determinado instante.

Al tiempo que se necesita para que el 50% de los núcleos del material radiactivo se desintegre se le llama semi desintegración o semi vida radiactiva.

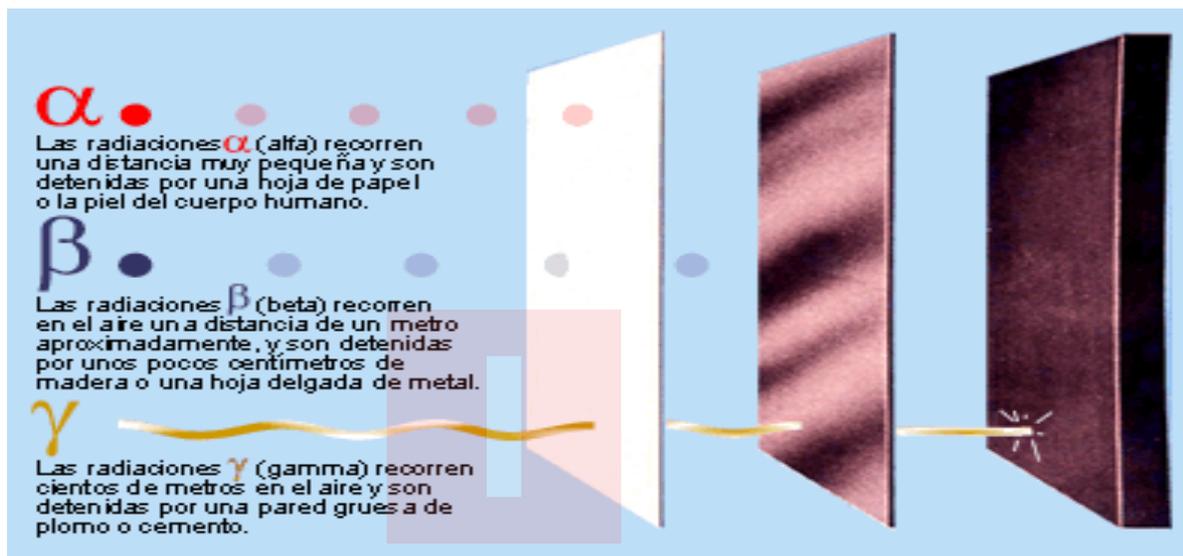
Las radiaciones ionizantes son de tres tipos:

**Partículas alfa  $\alpha$ .** Son núcleos de helio (formados por dos protones y dos neutrones). Las partículas alfa son las radiaciones ionizantes con mayor masa, por lo que su capacidad de penetración en la materia es limitada, no pudiendo atravesar una hoja de papel o la piel de nuestro cuerpo. Las partículas alfa son muy energéticas.

**Partículas beta  $\beta$ .** Son electrones o positrones y poseen una masa mucho menor que las partículas alfa, por lo que tienen mayor capacidad para penetrar en la materia. Una partícula beta puede atravesar una hoja de papel, pero será detenida por una fina lámina de metal o metacrilato y por la ropa. Son menos energéticas que las partículas alfa.

**Rayos gamma  $\gamma$ .** Son radiaciones electromagnéticas, por lo que no tienen masa ni carga, lo que les hace tener un gran poder de penetración en la materia. Para detenerlas es necesaria una capa gruesa de plomo o una pared de hormigón. Los rayos gamma y los rayos X tienen las mismas propiedades, diferenciándose únicamente en su origen. Mientras que los rayos gamma se producen en el núcleo del átomo, los rayos X proceden de las capas externas del átomo, donde se encuentran los electrones.

Existe un cuarto tipo de radiación ionizante, los **neutrones**, si bien hay que saber que éstos no son ionizantes por sí mismos, es decir cuando interaccionan con la materia no arrancan electrones. Sin embargo, cuando chocan con un núcleo atómico pueden activarlo o hacer que éste emita una partícula cargada o un rayo gamma, por lo que son ionizantes de forma indirecta. Los neutrones son las radiaciones ionizantes con mayor capacidad de penetración, por lo que para detenerlos hace falta una gruesa pared de hormigón, agua ligera y/o pesada, grafito, berilio y/o boro-10.



## Detección y medida de las radiaciones ionizantes

### La necesidad de medir

Desde siempre, la humanidad ha necesitado medir (creó miles de instrumentos para ello) y ponerse de acuerdo sobre las unidades a utilizar en dichas medidas, tarea que no fue nada fácil. Afortunadamente, en la actualidad contamos con el sistema internacional de unidades.

La observación de un fenómeno es en general, incompleta a menos que dé lugar a una información cuantitativa. Para obtener dicha información, se requiere la medición de una propiedad física.

Las radiaciones ionizantes no son una excepción a esta necesidad de medir. Por tanto es imprescindible definir magnitudes y establecer unidades únicas para cada una de dicha magnitudes.

### Magnitudes y unidades de medida de las radiaciones ionizantes

Las radiaciones ionizantes son invisibles, silenciosas, inodoras, insípidas y no pueden tocarse, en definitiva no podemos detectarlas con nuestros sentidos. Sin embargo, se pueden detectar y medir por distintos procedimientos. El hecho de no detectarlas con nuestros sentidos podría llevar a pensar, equivocadamente, que no existen o que no pueden provocar ningún efecto biológico. Sin embargo, sí es posible reconocer su existencia por los efectos que ocasionan, por su capacidad de ionizar la materia y de ser absorbidas por la misma.

Precisamente la necesidad de su cuantificación está derivada de la producción de una serie de efectos nocivos sobre los organismos vivos. Hace mucho tiempo que se sabe que las dosis altas de radiación ionizante pueden causar lesiones en los tejidos humanos. Ya a los seis meses del descubrimiento de los rayos X por Roentgen en 1895, se describieron los primeros efectos nocivos de las radiaciones ionizantes.

Las magnitudes y sus correspondientes unidades más utilizadas para medir las radiaciones ionizantes y los compuestos radiactivos son:

Magnitud	Proceso físico medido	Unidades S.I.
Actividad	Desintegración nuclear	Becquerel (Bq)
Dosis absorbida	Energía depositada	Gray (Gy)
Dosis equivalente	Efecto Biológico	Sievert (Sv)
Dosis efectiva	Riesgos	Sievert (Sv)

### Actividad radiactiva.

Se mide en becquerelios (Bq), que es una unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades, que equivale a una desintegración nuclear por segundo. Los becquerelios indican la velocidad de desintegración de una sustancia radiactiva. A mayor cantidad de becquerelios más rápidamente se desintegrará (mayor número de desintegraciones por segundo) y por tanto más "activa" sería la sustancia.

Ahora bien, la actividad (o los Bq) no nos da información sobre los posibles efectos que una fuente de radiación podría tener en nuestra salud. Una fuente de 100.000 millones de Bq puede ser totalmente inocua (si se encuentra blindada o lejos de nosotros) o puede causar un serio daño a nuestra salud (si por accidente la ingiriéramos).

Para conocer las posibles consecuencias en la salud de una exposición a radiación ionizante, se necesita por tanto otro concepto que indique la cantidad de energía absorbida por los tejidos y permita cuantificar el daño biológico causado. En definitiva, es necesario conocer la "**DOSIS**" de radiación recibida.

### Dosis absorbida

Las radiaciones ionizantes interaccionan con la materia depositando en ella energía, produciendo **ionizaciones** y por tanto alteraciones en las moléculas de las células. El daño biológico producido por las radiaciones ionizantes está relacionado con la **energía** depositada por **unidad de masa**, que es la magnitud conocida como **dosis absorbida**.

Como ya sabemos, la energía en el **Sistema Internacional**, se mide en julios (J) y la masa en Kilogramos (Kg), por tanto la dosis absorbida se medirá en J/Kg, unidad conocida con el nombre de Gray (Gy).

Pero el daño biológico producido por las radiaciones no sólo está en función de la energía depositada en un tejido u órgano, sino que también depende del tipo de radiación. No todas las radiaciones producen la misma densidad de ionización cuando atraviesan la materia viva. Por ejemplo, las partículas alfa producen mucha mayor densidad de ionización en la materia que atraviesan que los rayos gamma, para la misma dosis absorbida. Se sabe que las radiaciones que producen mayor densidad de ionización son más dañinas a igualdad de dosis.

### Dosis Equivalente

Es la magnitud utilizada para expresar la cantidad de energía depositada por unidad de masa y el tipo de radiación que suministra dicha energía. Esta magnitud también se mide en J/Kg, pero recibe el nombre de Sievert (Sv).

### Dosis Efectiva

Por último, se sabe que el daño producido por las radiaciones ionizantes en un ser vivo, además de depender de la dosis absorbida y del tipo de radiación, también está influenciado por el tejido u órgano que ha sufrido la irradiación. Esto se debe a que no todos los tejidos de nuestro organismo son igual de sensibles a la radiación y por tanto no todos ellos contribuirán de igual forma al perjuicio que la exposición tendrá en nuestra salud. Para tener en cuenta este factor, se ha definido la magnitud **Dosis Efectiva**, que al igual que la dosis equivalente, se mide en Sv (J/Kg).

Para entender todas estas magnitudes, vamos a imaginarnos que estamos debajo de una tormenta de granizo. La cantidad de granizo que cae representa la **actividad radiactiva**, pero no todos los granizos que caen nos alcanzarán. Aquellos que impacten con nuestro cuerpo son los que nos van a producir daño, por tanto el número de granizos que nos alcancen representará la **dosis absorbida**.



Pero, el daño que nos produzca el granizo no sólo dependerá del número de ellos que nos alcancen, sino que también va a depender del tamaño de éstos. A igualdad de número de granizos que nos impacten, cuanto mayor sea su tamaño más daño nos hará. El número de granizos que nos alcanzan y su tamaño es lo que, para las radiaciones ionizantes, nos indica la **dosis equivalente**.

Por último, si realmente queremos saber el daño que nos producirá el granizo, además del número que nos impacta y su tamaño, tendremos que tener en cuenta en qué parte de nuestro cuerpo nos alcanzan, ya que no todas ellas son igual de sensibles. Lo mismo ocurre con las radiaciones ionizantes y los tejidos de nuestro cuerpo y por eso es necesario utilizar la **dosis efectiva**.

En resumen, las magnitudes relacionadas con la dosis de radiación ionizante son:

<b>Dosis absorbida</b>	Energía depositada por unidad de masa	<b>Gray (Gy)</b> (J/Kg)
<b>Dosis equivalente</b>	Dosis absorbida multiplicada por un factor de ponderación que tiene en cuenta el tipo de radiación ionizante que produce la exposición	<b>Sievert (Sv)</b> (J/Kg)
<b>Dosis efectiva</b>	Sumatorio de dosis equivalente (en cada órgano/tejido) multiplicado por un factor de ponderación que tiene en cuenta la diferente sensibilidad de órganos y tejidos a la radiación ionizante	<b>Sievert (Sv)</b> (J/Kg)

### Tasa de Dosis

Hay una magnitud que también va a influir en el efecto que produzca la radiación ionizante en nuestra salud: la **Tasa de Dosis** que indica la dosis de radiación recibida por unidad de tiempo. Se sabe que una misma dosis recibida durante un largo periodo de tiempo es menos nociva que si esa misma dosis se recibe en segundos o minutos.

### ¿Cómo se pueden medir las radiaciones ionizantes?

Como se ha comentado anteriormente, ninguno de nuestros sentidos es capaz de detectar las radiaciones ionizantes. Sin embargo, en la actualidad existe una gran variedad de instrumentos que permiten medir las radiaciones ionizantes: contadores de radiactividad y dosímetros.

Un **dosímetro** es un instrumento que permite medir la dosis de radiación ionizante. Existen una gran variedad de dosímetros, por lo que es importante seleccionar el más adecuado en función de la utilización que esté prevista.

Así, existen dosímetros personales o de área.

**Los dosímetros personales** se utilizan cuando es necesario medir la dosis recibida por una persona determinada. Existen distintos tipos de dosímetros personales: de solapa, de muñeca o anillo, utilizándose uno u otro dependiendo de la zona del cuerpo que pudiera recibir la irradiación.

**Los dosímetros de área** se utilizan cuando no es necesario conocer la dosis recibida por una persona determinada, pero si es necesario conocer las dosis recibidas en lugares o puestos de trabajo.

No todos los dosímetros utilizan el mismo método para medir las dosis de radiaciones ionizantes. Algunos de los instrumentos utilizados son:

**Dosímetro de pluma.** (Denominado así por su tamaño y forma): La carga eléctrica y el voltaje de un condensador se reducen con la radiación ionizante. La dosis recibida desde que se haya cargado puede leerse a partir de la posición de un hilo metálico en una escala del dispositivo. El valor mostrado se puede reiniciar a cero con una nueva recarga. Estos dosímetros pueden registrar radiación gamma y de rayos X, así como radiaciones beta.

**Dosímetro de película.** La película utilizada se ennegrece en mayor o menor medida en función de la energía (radiación) que recibe. La placa en la que se pone la película cuenta con diferentes filtros destinados a ampliar la sensibilidad y para poder diferenciar radiaciones fuertes y débiles. Una vez que la radiación ha impresionado la película la medida se realiza comparando los tonos negros con otras películas sometidas a diferentes radiaciones (patrón).

**Dosímetro de termoluminiscencia (TLD).** En determinados cristales la radiación de rayos X o de rayos gamma motiva cambios microscópicos, que resultan en luz visible cuando se libera la energía de radiación absorbida al calentar el cristal. La dosis se calcula a partir de la cantidad de luz emitida.

Los **dosímetros digitales** se sirven de sensores electrónicos y procesamiento de señales y muestra la dosis de radiación recibida en una pantalla, mayoritariamente en  $\mu\text{Sv}$ . Estos dispositivos se pueden configurar de forma que si se alcanza un nivel determinado se emita una señal (por ejemplo acústica).



Ejemplos de instrumentos que nos permiten medir radiactividad (contador Geiger) y dosis de radiaciones ionizantes (dosímetros)

### Efectos biológicos de la radiación ionizante

#### **Potenciales riesgos de las radiaciones ionizantes**

Es importante saber que la radiación ionizante controlada no representa ningún riesgo para nuestra salud. De hecho, las radiaciones conviven con nosotros, ya que se encuentran en la naturaleza y además son utilizadas para el beneficio del hombre en muchas áreas como la medicina o la industria. Sin embargo, un mal uso de las radiaciones ionizantes puede producir efectos perjudiciales en la salud.

Las radiaciones ionizantes, como su nombre indica, tienen la capacidad de producir ionizaciones en los átomos con los que interaccionan debido a su alta energía. Así, estas radiaciones pueden alterar las estructuras químicas de las moléculas que forman las células de nuestro organismo.

Si la molécula alterada es importante para el funcionamiento de la célula, como es el caso del ADN (ácido desoxirribonucleico), habrá consecuencias nocivas para la célula. Dependiendo, entre otros factores, de la dosis de radiación el daño producido será de mayor o menor gravedad, lo que a su vez determinará el tipo de efecto que puede producirse en el organismo.

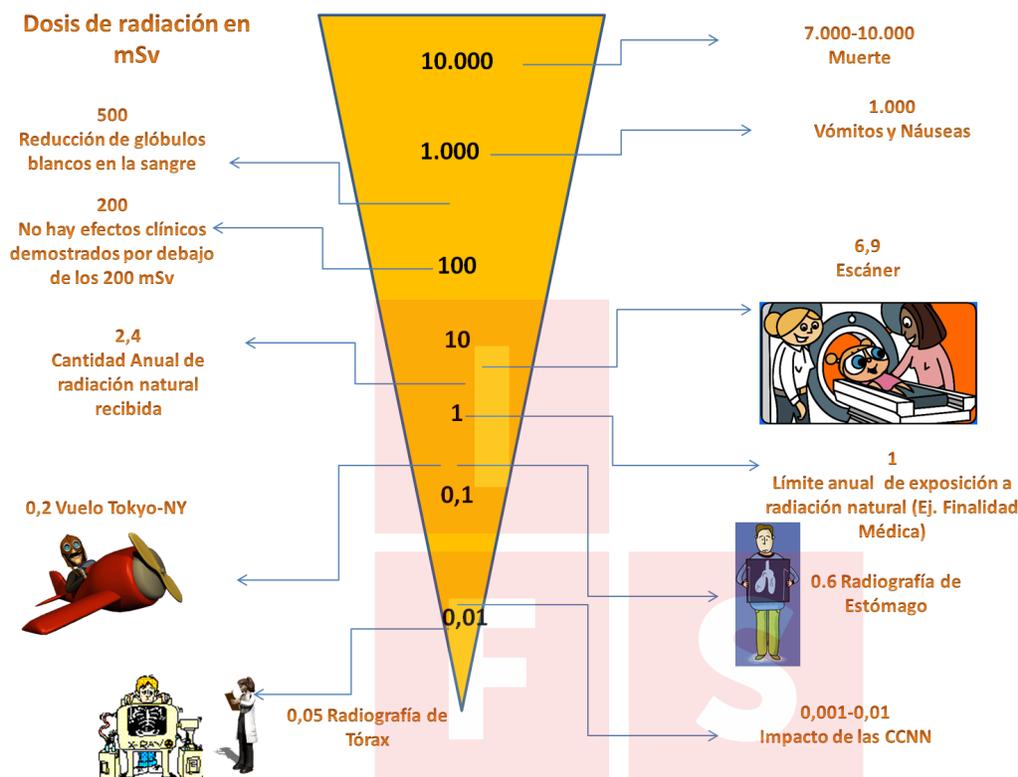
Si como consecuencia de la irradiación se produce un daño muy severo, la célula morirá. Si el número de células que muere es pequeño, no habrá consecuencias ya que nuestro cuerpo tiene capacidad para reponer estas células. Sin embargo, si el número de células que muere en un tejido u órgano como consecuencia de la irradiación es alto, se producirá un efecto perjudicial, que dependerá del tejido u órgano mayormente afectado por la radiación. Estos efectos se producen tras exposiciones a dosis altas de radiación y se conocen con el nombre de **reacciones tisulares o efectos deterministas**.

Los primeros efectos deterministas, o los menos severos, aparecen sólo a partir de dosis de 1 Gy (Gray). Una dosis de esta magnitud solamente se puede dar en el caso de un accidente radiológico. Generalmente estos primeros efectos consisten en náuseas, vómitos o, enrojecimiento superficial de la piel. Cuando las dosis recibidas por la persona son mayores se pueden manifestar diarreas, pérdida o caída del vello y esterilidad.

Pero no siempre la exposición a radiación produce la muerte de la célula. A dosis bajas, el daño producido es más leve y normalmente implica una alteración en la molécula de ADN, es lo que se conoce como mutación genética. Determinadas mutaciones pueden favorecer el desarrollo de un cáncer o de enfermedades genéticas heredables (es decir, que se pondrían de manifiesto en la descendencia de la persona irradiada). Estos efectos, denominados **estocásticos**, se producen tras exposición a dosis bajas de radiación y, lo que es muy importante, son de naturaleza probabilística. Esto implica que al aumentar la dosis de radiación recibida no aumenta la gravedad del efecto, sino la probabilidad de que dicho efecto ocurra. Por ejemplo, si pensamos en el desarrollo de un cáncer, una dosis mayor haría que exista mayor probabilidad de que se desarrolle, pero no implica que el cáncer vaya a ser más grave.

### ¿Qué efecto tienen en nosotros las dosis de radiación recibidas?

En el siguiente esquema tienes un resumen de dosis de radiación ionizante que se reciben en distintas actividades (radiografía de tórax, escáner, radiación natural) y también de las dosis que pueden producir efectos en nuestra salud.



## Protección radiológica

### Historia de la protección radiológica

Las radiaciones ionizantes tienen múltiples aplicaciones beneficiosas para el hombre, pero si son utilizadas inadecuadamente pueden producir efectos perjudiciales en la salud de las personas y en el medio ambiente. Por ello es necesario disponer de un sistema de protección radiológica, que regule el uso de las radiaciones ionizantes.

El siguiente vídeo te da la oportunidad de conocer mejor la historia de la protección radiológica

### La mejor protección es no recibir dosis de radiación

Sin lugar a dudas, la mejor manera de protegernos de los efectos perjudiciales de las radiaciones ionizantes es no estar expuestos a ellas.

Antes de ver las medidas prácticas que existen para evitar la exposición a radiación ionizante, es importante saber las diferencias que existen entre **irradiación** y **contaminación**, ya que, como veremos más adelante, las consecuencias (efectos) y la protección en ambas circunstancias varían.

Se denomina **irradiación** o exposición, a la acción de someter a una persona u objeto a las radiaciones ionizantes. Cuando la fuente de radiación se encuentra fuera del individuo se habla de irradiación externa.

Se denomina **contaminación**, cuando una sustancia radiactiva no deseada se deposita en la superficie del cuerpo o es incorporada en él. Si las sustancias radiactivas se depositan sobre la piel del individuo se trata de una contaminación externa, mientras que si se incorporan en el organismo por ingestión, inhalación o a través de heridas, se produce una contaminación interna. En este caso, las sustancias radiactivas se comportan en el interior del organismo como fuentes de radiación, es decir producen irradiación de los tejidos u órganos en los que se depositen.

Cuando una persona sufre una irradiación externa, los efectos producidos dependerán de la dosis recibida mientras que esté próximo a la fuente de radiación. En el momento que ya no esté en el radio de acción de la fuente, bien porque esté lo suficientemente alejado o porque exista un blindaje, la exposición a radiación cesará por completo.

En el caso de contaminación con una sustancia radiactiva, el individuo seguirá expuesto a radiación hasta que no se elimine dicha contaminación. Cuando se trata de una contaminación externa, ésta se puede eliminar fácilmente lavando la superficie contaminada. Sin embargo, cuando una sustancia radiactiva entra en nuestro organismo los efectos que produzca dependerán, por un lado del tejido u órgano en el que se deposite y por otro del tiempo que permanezca en el organismo. Este tiempo varía en función de la capacidad que tenga el organismo para eliminar el radionucleido y de su vida media o periodo de semidesintegración (tiempo que tarda un radionucleido en reducir su actividad radiactiva a la mitad).

La irradiación externa puede evitarse cumpliendo tres principios básicos, como se muestra en la figura: tiempo, distancia y blindaje.



En el caso de la contaminación, además de los tres principios básicos mostrados en la figura, existen otras medidas para evitar que ocurra:

Para evitar la contaminación interna es importante el uso de mascarillas, filtros o incluso equipos de respiración asistida cuando se manipulan sustancias radiactivas. Además, en las instalaciones que se trabaja con material radiactivo, está totalmente prohibido comer y beber.

Para evitar la contaminación externa, es necesario el uso de guantes y ropa desechable.

### ¿Qué es la protección radiológica?

**La protección radiológica** es el conjunto de medidas establecidas por los organismos competentes para la utilización segura de las radiaciones ionizantes y garantizar la protección de los individuos, de sus descendientes, de la población en su conjunto, así como del medio ambiente, frente a los posibles riesgos que se deriven de la exposición a las radiaciones ionizantes.

La protección radiológica tiene un doble objetivo: proteger a las personas y el medio ambiente de los efectos nocivos de la radiación, pero sin limitar indebidamente las prácticas que, dando lugar a exposición a las radiaciones, suponen un beneficio para la sociedad o sus individuos.

Para conseguir cumplir el objetivo fundamental de la protección radiológica se establecen tres principios básicos:

**Justificación:** Toda actividad que pueda incrementar la exposición a radiaciones ionizantes debe producir el suficiente beneficio a los individuos expuestos o a la sociedad como para compensar el perjuicio debido a la exposición a la radiación.

**Optimización:** Para cualquier fuente de radiación, las dosis individuales, el número de personas expuestas, y la probabilidad de verse expuestas, deben mantenerse tan bajas como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta consideraciones sociales y económicas

**Limitación de dosis:** La exposición individual al conjunto de las fuentes de radiación susceptibles de control, ha de estar sujeta a límites en la dosis recibida y, en el caso de exposiciones potenciales, a cierto control del riesgo. Estos límites son diferentes para el público y para los trabajadores profesionalmente expuestos. Una persona se considera profesionalmente expuesta si como consecuencia de su actividad laboral, está expuesta a radiaciones ionizantes con una probabilidad de recibir 1/10 de los límites de dosis. El resto de las personas se consideran miembros del público.

En la tabla se muestran los valores de límites de dosis para público y trabajadores actualmente vigentes.

	Límites de dosis	
	Trabajadores	Público
Dosis efectiva	20 mSv/año promediada a lo largo de periodos definidos de 5 años <sup>1</sup>	1 mSv en un año <sup>2</sup>
Dosis equivalente <sup>3</sup> anual en:		
•Cristalino	150 mSv	15 mSv
•Piel	500 mSv	50 mSv
•Manos y pies	500 mSv	—
1. Con el requisito adicional de que la dosis efectiva no debería superar 50 mSv en un año cualquiera. 2. Bajo condiciones excepcionales se podría permitir una dosis efectiva más alta en un único año, siempre que la media de 5 años no supere 1 mSv/año. 3. La limitación de la dosis efectiva asegura una protección contra efectos estocásticos. Hay límite adicional para exposiciones locales (Dosis equivalente) para evitar los efectos deterministas.		

La protección radiológica considera que existen tres situaciones de exposición posibles:

Situaciones de *exposición planificada* que son aquellas que involucran la introducción y la operación planificada de fuentes.

Situaciones de *exposición de emergencia* que son situaciones inesperadas, que demandan una atención urgente, como las que pueden sobrevenir durante la operación de una situación planificada (accidente) o de un acto malévolo.

Situaciones de *exposición existente* que son estados de exposición que existen cuando tiene que ser tomada una decisión sobre su control, como las causadas por la radiación de fondo natural (radón).

A cada una de ellas se aplican los principios fundamentales de la justificación y la optimización de la protección. Los límites de dosis (individual) se aplican a las situaciones de exposición planificada, pero no se aplican a situaciones de emergencia. En estas últimas existen unos niveles de dosis de referencia.

### **PROTECCIÓN DE LOS TRABAJADORES**

Como se ha comentado anteriormente, uno de los principios básicos de la protección radiológica es la limitación de dosis. En el caso de los trabajadores, el límite de dosis efectiva es de 20 mSv al año, pudiéndose promediar en cinco años consecutivos, es decir en esos cinco años se podrá recibir un total de 100 mSv, siempre y cuando en un año no se superen los 50 mSv.

Existen límites de dosis equivalente para tejidos u órganos concretos: cristalino (150 mSv al año), piel (500 mSv al año; límite que se aplica a la dosis promediada sobre cualquier superficie de 1 cm<sup>2</sup>, con independencia de la zona expuesta) y manos, antebrazos, pies y tobillos (500 mSv al año).

Para poner en práctica la protección radiológica de los trabajadores, hay que establecer medidas de control y vigilancia para prevenir su exposición a radiaciones ionizantes y que no se superen los límites de dosis antes mencionados.

Entre estas medidas se encuentran:

Evaluar las condiciones laborales.

Clasificar y señalar los lugares de trabajo según la cantidad de radiación que pueda existir.

Clasificar a los trabajadores en diferentes categorías según sus condiciones de trabajo.

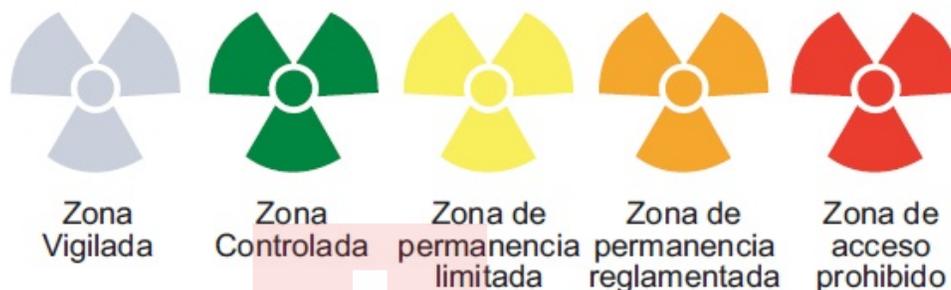
Realizar una vigilancia radiológica de los trabajadores profesionalmente expuestos, mediante dosímetros.

Establecer programas de información y formación en protección radiológica.

Aplicar las normas y medidas de vigilancia y control de las diferentes zonas

Hacer una vigilancia médica periódica por servicios de prevención autorizados.

### Delimitación de las zonas dentro de las instalaciones radiactivas



Según la forma en que se pueda producir la exposición a radiación en los trabajadores (irradiación externa, contaminación o ambas), las zonas de trabajo se clasifican en:

**Zona vigilada.** Es aquella zona en la que existe la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 1/10 de los límites de dosis equivalentes para el cristalino (150 mSv), la piel y las extremidades (500 mSv).

**Zona controlada.** Es aquella zona en la que: (1) Existe la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 6 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalentes para el cristalino (150 mSv), la piel y las extremidades (500 mSv), o (2) Es necesario seguir procedimientos de trabajo con objeto de restringir la exposición a la radiación ionizante, evitar la dispersión de contaminación radiactiva o prevenir o limitar la probabilidad y magnitud de accidentes radiológicos o sus consecuencias.

Las zonas controladas se podrán subdividir en:

**Zonas de permanencia limitada:** son aquéllas en las que existe el riesgo de recibir una dosis superior a los límites de dosis (100 mSv durante todo período de cinco años oficiales consecutivos, sujeto a una dosis efectiva máxima de 50 mSv en cualquier año oficial).

**Zonas de permanencia reglamentada:** son aquéllas en las que existe el riesgo de recibir en cortos períodos de tiempo una dosis superior a los límites de dosis y que requieren prescripciones especiales desde el punto de vista de la optimización.

**Zonas de acceso prohibido:** son aquéllas en las que existe el riesgo de recibir, en una exposición única, dosis superiores a los límites de dosis.

La clasificación de los lugares de trabajo en las zonas establecidas deberá estar siempre actualizada de acuerdo con las condiciones reales existentes, por lo que será revisada si existieran variaciones de las condiciones de trabajo.

TIPO DE ZONA	COLOR DEL TRÉBOL	OTRAS DISTINCIONES EN EL TRÉBOL
Zona vigilada	Gris magenta	• Puntos radiales en los extremos: peligro de irradiación externa
Zona controlada	Verde	• Campo punteado alrededor del trébol: peligro por contaminación
Zona permanencia limitada	Amarillo	• Ambas señales: peligro por contaminación externa y radiación
Zona prohibida	Rojo	

## PROTECCIÓN DEL PÚBLICO

Al igual que en el caso de los trabajadores, existen unos límites de dosis para el público que no pueden superarse por ley. El límite de dosis efectiva para el público es de 1 mSv al año, siendo los límites de dosis equivalentes para cristalino de 15 mSv al año y para la piel de 50 mSv al año (este límite se aplicará a la dosis promediada sobre cualquier superficie cutánea de 1 cm<sup>2</sup>, con independencia de la superficie expuesta).

Es importante saber que en los límites de dosis, tanto de trabajadores como del público, no se incluyen las dosis recibidas de la radiación natural de fondo, ni aquellas que puedan recibirse como consecuencia de tratamientos médicos.

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) mantiene un estricto programa de vigilancia de todas y cada una de las instalaciones radiactivas y nucleares que existen, para garantizar que el funcionamiento de las mismas sea seguro para el público y los trabajadores.

## Planes de emergencia

Las instalaciones nucleares y radiactivas están diseñadas siguiendo unas normas de seguridad muy estrictas, lo que garantiza que la probabilidad de que ocurran accidentes sea muy baja.

Antes de conocer cuáles son los planes de emergencia existentes, es importante conocer la diferencia entre accidente e incidente.

Un accidente se define como un acontecimiento imprevisto que provoca daños a una instalación o altera su buena marcha y que puede implicar, para una o más personas, recibir una dosis de radiación ionizante superior a los límites de dosis establecidos.

Si el acontecimiento imprevisto tiene escasa (o nula) trascendencia fuera del emplazamiento de la instalación implicada, se habla de incidente.

A pesar de las grandes medidas de seguridad existentes en las instalaciones nucleares y radiactivas, que hacen que la probabilidad de que ocurra un accidente sea muy baja, esta posibilidad no es nula. Ello hace prudente tener **planes de emergencia**, en donde están previstas las actuaciones a seguir en caso de que ocurra un accidente.

Los planes de emergencia tienen dos objetivos fundamentales:

Reducir el riesgo o mitigar las consecuencias de los accidentes en su origen.

Evitar o, al menos, reducir en lo posible los efectos adversos de las radiaciones ionizantes sobre la población y el medio ambiente.

El plan de emergencia en centrales nucleares se organiza en dos niveles distintos y complementarios:

Nivel de respuesta interior. Las actuaciones de preparación y respuesta a situaciones de emergencia en este nivel, están recogidas en el Plan de Emergencia Interior (PEI), que es específico para cada central nuclear.

Nivel de respuesta exterior. Las actuaciones de preparación y respuesta a situaciones de emergencia en este nivel se establecen en:

Planes de emergencia exteriores a las centrales nucleares (PEN), que a su vez incluyen los planes de actuación de los grupos operativos y los planes de actuación municipal en emergencia nuclear (PAMEN).

Plan de emergencia nuclear del nivel central de respuesta y apoyo (PENCRA) a los anteriores, que incluirá la solicitud de la prestación de asistencia internacional.

Estos planes de emergencia nuclear establecerán los objetivos y el alcance específicos, la organización, estructura y funciones de éstos, los medios humanos y materiales y los recursos necesarios, los procedimientos de actuación operativa para su movilización y actuación ordenada y eficaz, así como el esquema de coordinación entre las distintas Administraciones públicas llamadas a intervenir.

## Energía nuclear

### Introducción

La energía nuclear es la energía proveniente de reacciones nucleares o de la desintegración de los núcleos de algunos átomos. Procede de la liberación de la energía almacenada en el núcleo de los mismos.

Una central nuclear es una central termoeléctrica, es decir, una instalación que aprovecha una fuente de calor para convertir en vapor a alta temperatura un líquido que circula por un conjunto de conductos; y que utiliza dicho vapor para accionar un grupo turbina-alternador, produciendo así energía eléctrica.

La principal diferencia entre las centrales termoeléctricas convencionales y las centrales termoeléctricas nucleares es la reacción que libera la energía necesaria para conseguir la fuente de calor para la producción del vapor. En el caso de las centrales convencionales, se trata de la reacción de combustión del carbono (carbón, gas o fuelóleo), en el segundo de la **reacción nuclear de fisión** de núcleos de uranio. En este último caso, la energía liberada por reacción es del orden de millones de veces superior a la del caso primero, lo que explica el menor consumo de combustible y producción de residuos, éstos de naturaleza distinta, en una central nuclear en comparación con una central convencional, a igualdad de potencias de producción.

La fisión es una reacción en la cual un núcleo pesado, al ser bombardeado con neutrones, se descompone en dos núcleos, cuyos tamaños son del mismo orden de magnitud, con gran desprendimiento de energía y la

emisión de dos o tres neutrones. Éstos, a su vez, pueden ocasionar más fisiones al interactuar con nuevos núcleos fisionables que emitirán nuevos neutrones y así sucesivamente.

Este efecto multiplicador se conoce con el nombre de reacción en cadena. En una pequeña fracción de segundo, el número de núcleos que se han fisionado libera una energía  $10^6$  veces mayor que la obtenida al quemar un bloque de carbón o explotar un cartucho de dinamita de la misma masa. Debido a la rapidez a la que tiene lugar una reacción nuclear, la energía se desprende mucho más rápidamente que en una reacción química.

Si por el contrario se logra que sólo uno de los neutrones liberados produzca una fisión posterior, el número de fisiones que tienen lugar por segundo es constante y la reacción está controlada. Este es el principio del funcionamiento en el que están basados los reactores nucleares, que son fuentes controlables de energía nuclear de fisión.

Las reacciones de fisión fueron descubiertas por Otto Hahn y Fritz en 1939, y el artífice encargado de la puesta en práctica de la idea de desarrollar la reacción en cadena fue Enrico Fermi, que reunía la doble condición de ser un magnífico teórico y un hábil experimentador. El 2 de diciembre de 1942 consiguió, con su equipo, la reacción de fisión en cadena autosostenida en la famosa Chicago Pile 1, construida en una pista de squash bajo las gradas del estadio de fútbol de la Universidad de Chicago. Se trataba de un apilamiento de aproximadamente  $7\text{m} \times 7\text{m}$  constituido por bloques de grafito (moderador de neutrones), atravesado de lado a lado por barras de uranio natural (combustible nuclear) de una pulgada de diámetro.

### Seguridad Nuclear

Como es bien sabido, el uso de la energía nuclear entraña riesgo, porque implica la generación y manipulación de productos radiactivos. Por ello, es necesario incorporar las medidas técnicas y administrativas adecuadas con las que reducir el valor del *riesgo* a valores aceptables.

En esto, la energía nuclear no es distinta de otras actividades que la sociedad admite y utiliza, como el gas doméstico, la electricidad, o el transporte.

La seguridad nuclear tiene como objetivo la defensa de las personas y el medio ambiente frente a los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes pero sin renunciar a los beneficios que la utilización de la energía nuclear reporta a la humanidad.

Para conseguir una protección adecuada es necesario establecer una serie de medidas técnicas y administrativas que garanticen esta seguridad.

### Barreras de contención

Las barreras físicas de seguridad son cuatro:

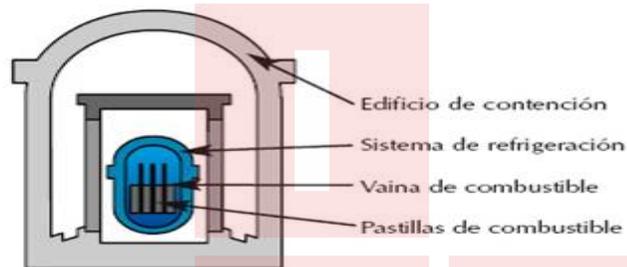
La primera la forman las propias pastillas de combustible que, debido a su estructura cerámica, retienen las sustancias radiactivas producidas en la fisión;

La segunda barrera está formada por las varillas que contienen el combustible y que retienen las pequeñas cantidades de sustancias radiactivas que pudieran escapar de la primera barrera, impidiendo que pudieran pasar al refrigerante;

La tercera es el circuito de refrigeración formado por la vasija del reactor, de acero especial de 20 a 25 cm de espesor y revestida interiormente de acero inoxidable, y todos los sistemas auxiliares del mismo; y

La cuarta barrera es el edificio de contención, construido de hormigón armado sobre una losa, también de hormigón, y recubierto interiormente por una chapa de acero para asegurar su hermeticidad.

#### BARRERAS DE CONTENCIÓN



#### Salvaguardias tecnológicas

Para proteger estas barreras de protección existe un conjunto de sistemas que han sido diseñados teniendo en cuenta la aparición de sucesos, posibles pero no esperados, durante el funcionamiento de la central, como por ejemplo un terremoto o una inundación.

Los sistemas que forman parte de las salvaguardias tecnológicas son:

El sistema de protección del reactor, que iniciaría automáticamente la actuación de los sistemas necesarios para poder detener el reactor mediante la rápida inserción de las barras de control;

El sistema de refrigeración de emergencia del núcleo que se encargaría de refrigerarlo en caso de accidente con pérdida de refrigerante;

El sistema eléctrico de emergencia que garantizaría el suministro eléctrico para el funcionamiento de los sistemas y componentes de la central, incluso después de un fallo del suministro eléctrico normal; y

El sistema de contención, que tiene como misión principal mantener dentro de los límites aceptables las descargas radiactivas al medio ambiente en caso de accidente.

#### Defensa en Profundidad

En las centrales nucleares se aplica el llamado concepto de "Defensa en Profundidad", según el cual se establecen niveles sucesivos de protección, disponiéndose en cada uno de ellos de mecanismos adecuados para corregir los potenciales fallos que pudiesen producirse en el nivel anterior. Los cinco niveles de seguridad son:

Un diseño y construcción que garanticen la estabilidad y seguridad intrínseca del reactor;

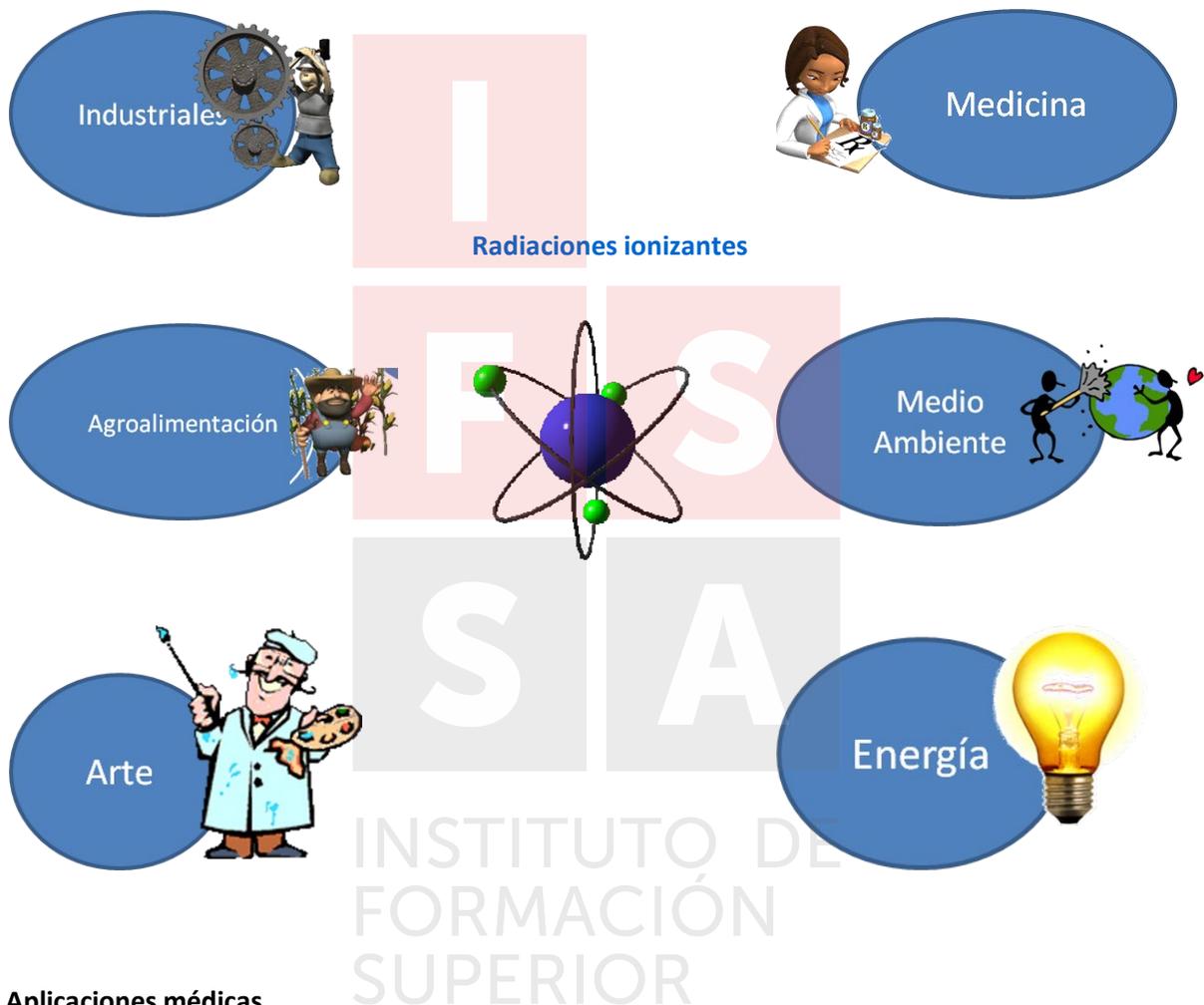
La existencia de mecanismos capaces de llevar el reactor a parada segura ante cualquier desviación de las condiciones normales de funcionamiento;

La incorporación de sistemas de seguridad capaces de hacer frente a incidentes y accidentes, si no lo hubieran resuelto los niveles anteriores;

Una serie de elementos complementarios específicos para mitigar las consecuencias de sucesos que pudieran exceder las bases de diseño; y

La existencia de unos planes de emergencia que incluyan medidas de protección a las personas.

### Aplicaciones de la radiación ionizante



### A. Aplicaciones médicas

#### Introducción

A finales del siglo XIX existía la gran incógnita de qué pasaba en el interior del cuerpo de los pacientes. Sin embargo, esta incógnita comenzaría a resolverse pocos meses antes de terminar 1895, cuando comenzaron a desarrollarse las técnicas de imagen médica. Casi simultáneamente con la introducción de la cinematografía en Francia por los hermanos Lumière, Wilhelm Conrad Röntgen descubría los llamados rayos X. Su nombre se debe a que eran desconocidos (de ahí la X), y "rayos" porque el agente observado por Röntgen se propagaba en línea recta, en todas las direcciones.

Como dato curioso, decir que dos meses después del descubrimiento de Röntgen, un eminente físico húngaro, Endre Högyes, publicó un trabajo en una revista médica de su país en el que sugería que la nueva

técnica podría ser aplicada en el campo de la medicina. Su trabajo, titulado "Fotografía del esqueleto a través del cuerpo por el método de Röntgen" se ilustró con una serie de notables radiografías, entre ellas una de un esqueleto de rana.

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.

### **Aplicaciones de las radiaciones ionizantes en el diagnóstico y seguimiento de enfermedades**

Las aplicaciones de las radiaciones ionizantes para diagnóstico son innumerables, ya que cada vez se desarrollan técnicas más avanzadas que permiten no sólo visualizar los huesos, los dientes y las cavidades corporales, sino también obtener imágenes de cortes de tejidos que permiten detectar desarrollos aún incipientes de una enfermedad, por ejemplo, evaluar el estado de las paredes arteriales y detectar un tumor en una fase muy temprana de desarrollo.

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

La tomografía computarizada permite la obtención de imágenes de cortes transversales del cuerpo humano, cuyo tratamiento informático posibilita la reconstrucción de la imagen en tres dimensiones, permitiendo visualizar con gran nitidez huesos, órganos y nervios, algo que no es posible con la radiografía convencional.

La integración de las diversas modalidades de diagnóstico por imagen mediante programas informáticos se está convirtiendo en una realidad clínica cotidiana, con la consiguiente mejora de la visualización, la sensibilidad y la especificidad. Las radiografías se digitalizan (se prescinde de la película) y como su recuperación se hace de forma instantánea, se pueden transferir sus imágenes a cualquier sitio. Así, por medio de la telerradiografía se puede obtener asesoramiento de especialistas eminentes de diferentes países para interpretar una imagen difícil.

La **medicina nuclear**, a diferencia de los métodos comentados anteriormente que emplean fuentes de radiación ionizante externas al organismo, utiliza sustancias radiactivas unidas a un fármaco (radiofármacos) que son incorporadas al cuerpo, para poder realizar el seguimiento de la actividad de un tejido u órgano.

Los isótopos radiactivos que se utilizan en medicina nuclear deben cumplir ciertos requisitos:

Que emitan radiación que atravesase con facilidad los tejidos del cuerpo humano.

Que la radiación que emiten sea detectada con eficiencia por los dispositivos que formarán la imagen.

Que tengan una vida media adecuada para el tiempo de duración de la exploración (algunas horas).

### **Aplicaciones de las radiaciones ionizantes en el tratamiento de enfermedades**

La otra gran aplicación de las radiaciones ionizantes 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.

Existen dos métodos bien diferenciados para el tratamiento de enfermedades con radiaciones ionizantes. La **radioterapia**, que utiliza fuentes de radiación "encapsuladas" y la **medicina nuclear**, en la cual la sustancia radiactiva se administra al paciente a tratar (inyección, vía oral, inhalación), unida a un fármaco.

## **B. Aplicaciones industriales**

### **Introducción**

Las aplicaciones de las radiaciones ionizantes en el ámbito industrial son muy numerosas y variadas. Así, se aplican en industrias como la minería, la industria manufacturera y de reciclaje.

El uso de radiaciones ionizantes en industria es de gran importancia para el desarrollo y optimización de procesos, las mediciones "on-line", la automatización y control de calidad, la mejora de las propiedades de materiales y la esterilización.

Las principales cualidades de la radiación ionizante de utilidad para su aplicación en industria son:

**Atravesan/penetran la materia.** La capacidad de las radiaciones ionizantes para atravesar la materia varía en función del tipo de radiación. Así pues, dependiendo de la aplicación que se quiera dar en la industria, se elegirá un tipo u otro de radiación. Las radiaciones más penetrantes son los neutrones, seguidos de los rayos gamma y los rayos X. Las radiaciones beta tienen menor capacidad de penetración que las anteriores, pero mayor que las partículas alfa, las cuales no son capaces de atravesar una hoja de papel o nuestra piel.

**Facilidad y precisión de detección.** Es posible medir cantidades insignificantes de radiación ionizante de manera rápida y precisa. Se puede detectar un átomo radiactivo en cien mil millones de átomos no radiactivos.

**Aportan energía.**

**Estimulan la producción de radiaciones secundarias.**

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

- Medidores de espesor, densidad o nivel.
- Procesos de tratamiento como la polimerización y la esterilización.

- Ensayos no destructivos como la radiografía o la neutrografía.
- Trazadores, para medir por ejemplo el caudal o la velocidad de fluidos en tuberías.
- Prospección, para conocer características de los suelos.

A continuación encontrarás más información sobre estas aplicaciones industriales de las radiaciones ionizantes y ejemplos que te ayudarán a comprender mejor los conceptos.

### **Uso de las radiaciones ionizantes en medidores**

Las ventajas que ofrecen los medidores que emplean radiaciones ionizantes son:

Las mediciones se realizan sin que tenga lugar contacto físico entre el sensor y el material medido.

La medición no es destructiva.

El material medido puede estar en movimiento.

Para mantener la estabilidad de la fuente de radiación ionizante utilizada se requiere poco mantenimiento.

Existe una buena relación coste-beneficio.

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.

### **Procesos de tratamiento: polimerización y esterilización**

La energía depositada por la radiación en el medio produce modificaciones debido a su acción bactericida e ionizante. El poder ionizante de las radiaciones altera las propiedades tanto físicas como químicas de los materiales.

#### **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.

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.

#### **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. Para que os hagáis una idea

de la importancia de la esterilización, la utilización de los productos médicos de un solo uso aumenta un 6,1% al año en Europa y un 6,2 % en Estados Unidos de América.

### 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

## Materiales que pueden esterilizarse con radiación ionizante

### Ensayos no destructivos

Estos ensayos se utilizan en industria para detectar defectos o detalles internos de la muestra o material, por ejemplo, para verificar las uniones de soldadura en tuberías.

Los ensayos no destructivos se basan en el siguiente principio: Los materiales cuando son irradiados absorben parte de la energía de radiación de manera proporcional al espesor y densidad del material. Así, cuanto más denso y espeso sea el material, más energía absorberá y por tanto menos energía llegará a la placa fotográfica dando una señal más clara (en una escala del blanco al negro). Por el contrario cuando el color de la placa fotográfica es negro (o muy oscuro) indica que el material que ha atravesado la radiación es de poco grosor o densidad, lo que sería indicativo de que el material está desgastado y por tanto puede romperse.

Dependiendo del tipo de radiación utilizada en el **ensayo no destructivo**, se habla de **radiografías** (Rayos X), **gammagrafías** (Rayos gamma) o **neutrografías** (neutrones).

### Neutrografías de distintos materiales y equipos.

Los ensayos no destructivos también se utilizan en temas de seguridad y vigilancia. Todos los detectores de seguridad de aeropuertos, correos, edificios oficiales, etc. utilizan los rayos X para escanear bultos o personas.

### Uso de los isótopos radiactivos como trazadores

La técnica se basa en la incorporación de isótopos radiactivos (radionucleidos) a determinados materiales, con el objetivo de seguir el curso o conocer el comportamiento de éstos mediante la detección de las radiaciones emitidas.

Los isótopos radiactivos utilizados como trazadores tienen la ventaja de que se pueden incorporar a cualquier proceso, sin alterarlo. Además se pueden detectar a distancia y en concentraciones mínimas.

Los trazadores radiactivos se utilizan para la medición de caudales y/o velocidades de fluidos en tuberías, para detectar filtraciones, fugas u obstrucciones en tuberías subterráneas, y para el estudio de desgaste y corrosión de piezas.

Los isótopos radiactivos más utilizados son: Yodo-131 (vida media de 8,05 días), Oro-198 (vida media de 2,7 días), Bromo-82 (vida media de 36 horas), Tritio (vida media de 12,2 días) y Cromo-51 (vida media de 27,8 días). Fundamentalmente se usan isótopos que emiten radiación gamma.

### **Prospección**

La prospección es la exploración del subsuelo basada en el examen de los caracteres del terreno y encaminada a descubrir yacimientos minerales, petrolíferos, aguas subterráneas o simplemente a conocer mejor ciertas características del terreno.

La prospección utilizando sondas neutrón-gamma permite conocer la porosidad de las rocas. Por métodos de dispersión de rayos gamma podemos conocer la densidad de los materiales del suelo o la cantidad de hidrógeno en las rocas.

## **C. Aplicaciones en arte y conservación de patrimonio**

### **Obras pictóricas e instrumentos musicales**

La radiografía con rayos X se viene usando desde finales de los años 20 para examinar obras pictóricas en museos. A finales de los 40, también comenzaron a utilizarse para examinar instrumentos musicales. La radiografía es una técnica no destructiva para evaluar las características internas de aspectos que de otra forma serían invisibles en un objeto. Permite detectar si ha habido reparaciones previas del instrumento, alteraciones y en algunos casos falsificaciones, daño interno por insectos, alteraciones significativas en la composición estructural del instrumento o del cuadro y aporta información sobre la densidad de los materiales.

### **Esculturas**

La radiografía permite conocer el estado interno de los objetos, el deterioro no visible producido por el paso del tiempo y los posibles procesos de conservación-restauración a los que ha sido sometido el bien cultural. También detecta la existencia de elementos en el interior de una pieza, el contenido de urnas selladas o las falsificaciones de momias.

### **Arqueología**

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.

#### D. Aplicaciones medioambientales

##### La contaminación del medio ambiente

La contaminación del medio ambiente es en la actualidad un problema mundial al que es preciso hacer frente de inmediato. En los últimos años, las medidas para disminuir la contaminación y aumentar la seguridad del medio ambiente han ocupado un lugar prominente en los programas sociales y políticos de muchos países.

Antes de cualquier iniciativa para reducir la contaminación es necesario conocer con certeza tres factores:

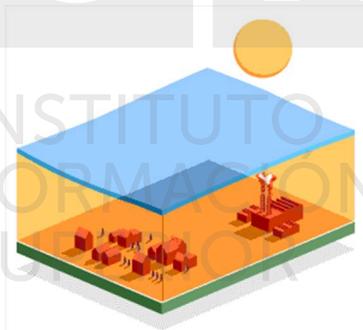
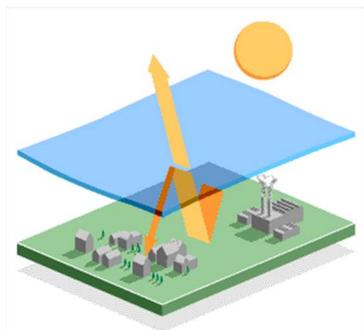
- Cantidades de las sustancias contaminantes y lugares en que se presentan.
- Causas de la contaminación.
- Remedio adecuado para evitar la contaminación, sin crear otros efectos no desados.

En la mayoría de los casos los isótopos radiactivos y no radiactivos es de gran utilidad para contestar a las dos primeras preguntas.

##### ¿Qué es el efecto invernadero?

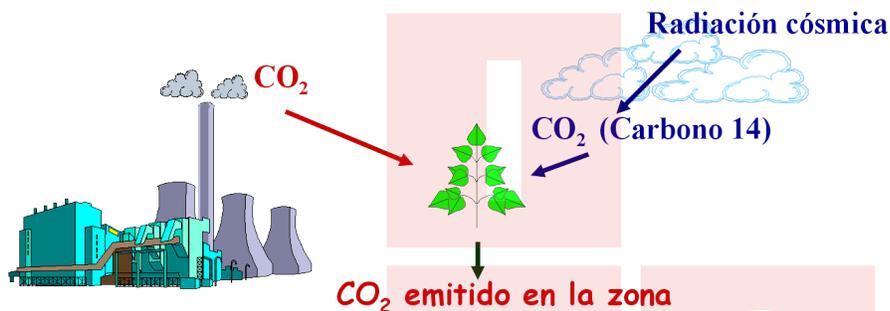
Se denomina efecto invernadero al fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de la atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar. Afecta a todos los cuerpos planetarios dotados de atmósfera. De acuerdo con la mayoría de la comunidad científica, el efecto invernadero se está viendo acentuado en la Tierra por la emisión de ciertos gases, como el dióxido de carbono y el metano, debido a la actividad humana.

Este fenómeno evita que la energía solar recibida constantemente por la Tierra vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a escala mundial un efecto similar al observado en un invernadero.



## Aplicaciones de las técnicas isotópicas

Medida de gases contaminantes. Se ha desarrollado un método ingenioso y simple para calcular las liberaciones de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera local de una zona industrial: las plantas captan C-14 procedente de las radiaciones cósmicas, en forma de  $\text{CO}_2$  y también incorporan el  $\text{CO}_2$  emitido por las industrias de la zona, por lo que determinando la proporción de C radiactivo y no radiactivo se puede determinar la emisión total de  $\text{CO}_2$  en la zona.



Eliminación de contaminantes. Los isótopos no sólo son útiles para estudiar el desplazamiento en aire de las sustancias contaminantes. Los métodos nucleares, como la irradiación con haces electrónicos en presencia de amoníaco, son muy útiles para eliminar gases contaminantes, incluidos los gases del efecto invernadero. Estos métodos tienen entre otras muchas ventajas el que los subproductos generados pueden ser utilizados como fertilizantes agrícolas (proyecto piloto en Polonia).

Estudio de cambios climáticos del pasado. La comprensión de los cambios climáticos que tuvieron lugar en el pasado encierra la clave para predecir los cambios futuros. Los isótopos son un importante instrumento utilizado para ampliar el análisis espacial y temporal de los procesos climáticos. Tanto los isótopos radiactivos como los estables han servido de importante recurso para el estudio de parámetros relacionados con el clima, entre ellos la temperatura del aire de la superficie, la humedad relativa de la atmósfera y la cantidad de precipitación.

En determinados nodos del ciclo del agua, las firmas isotópicas y sus cambios a lo largo del tiempo quedan preservados en diversos archivos de depósito. Las variaciones de las composiciones isotópicas que ocurren en estos archivos proporcionan una ventana a través de la cual pueden observarse los sistemas hidrológicos y climáticos del pasado. Los isótopos son semejantes a registros naturales de datos o huellas dactilares presentes en el interior de la molécula de agua y de las sustancias químicas y las trazas metálicas que se disuelven en el agua.

## Contaminación del agua

La contaminación del agua superficial puede remediarse con medidas concertadas de prevención y control, pero el problema es más grave cuando la contaminación penetra en las aguas subterráneas. El agua subterránea contaminada puede permanecer en los acuíferos durante siglos, incluso milenios y su descontaminación es muy difícil, sino imposible. Las técnicas isotópicas pueden ayudar a evaluar la vulnerabilidad de las aguas subterráneas a la contaminación procedente de la superficie, al determinar su velocidad de desplazamiento y la zona de recarga. También permiten precisar las fuentes de contaminación

superficiales: naturales, industriales, agrícolas o domésticas. Las técnicas isotópicas ayudan a descubrir una contaminación incipiente y pueden servir de alerta temprana cuando indicadores químicos o biológicos no muestran signos preocupantes.

Los nitratos son uno de los contaminantes del agua subterránea más comunes y nocivos. El análisis isotópico del nitrógeno de muestras de agua subterránea puede ayudar a identificar las fuentes de contaminación de nitratos y facilitar la adopción de medidas de mitigación adecuadas.

La contaminación del agua con cantidades traza de solventes clorinados es un problema medioambiental importante en todo el mundo. La eliminación de los bajos niveles de estos compuestos en agua es difícil. Un método relativamente reciente consiste en oxidar con radicales OH estos compuestos, lo que generaría  $\text{CO}_2$  o iones de cloro, totalmente inocuos. Con diferencia el método más sencillo para producir radicales OH es la exposición de agua a radiación ionizante, ya que no es necesario añadir ningún agente químico. Se está impulsando el uso de aceleradores de haces de electrones avanzados para desinfectar agua para beber y aguas residuales.

### **Contaminación del suelo**

Cuando la contaminación del medio ambiente comenzó a considerarse un serio problema, el interés se centró en la contaminación del aire y el agua, tal vez por ser más visibles. El problema de la contaminación del suelo se descuidó durante mucho tiempo, pero actualmente se considera que tiene una importancia similar a la de las otras fuentes de contaminación ambiental. Es importante resaltar el papel que juega el suelo en la posible aparición de sustancias contaminantes en la cadena alimentaria del hombre.

La agricultura emplea las mayores cantidades de productos químicos que penetran en el suelo como fertilizantes o plaguicidas. Los plaguicidas venenosos deben probarse cuidadosamente para garantizar su descomposición en productos que no representen amenaza para el hombre o los animales. Una aplicación importante de los isótopos es determinar la descomposición de los productos y su destino.

Otro problema agrícola medioambiental es el de los fertilizantes no utilizados que se descomponen en productos de oxidación del nitrógeno y que por lo tanto pueden convertirse en un problema grave.

Las técnicas nucleares son ideales para evaluar con exactitud la contaminación y, en muchos casos, permiten determinar la fuente exacta de la misma. Existen muchas formas de contaminación del suelo que ocurren todos los días, como la filtración de tuberías que contienen por ejemplo excrementos humanos o petróleo, o los derrames superficiales de productos químicos transportados, con respecto a las cuales los métodos isotópicos desempeñan un papel importante.

Una aplicación concreta de las radiaciones ionizantes es en los lodos de depuradoras municipales. Estos lodos contienen metales pesados orgánicos y múltiples contaminantes patógenos. Estos lodos una vez higienizados pueden ser utilizados como abonos agrícolas. La eliminación de patógenos (desinfección) puede realizarse mediante irradiación, la cual se realiza una vez el lodo ha sido sometido a un proceso de secado.

## Erradicación de plagas

Si bien algunos insectos son importantes para mantener el equilibrio ecológico natural, también hay que tener en cuenta que compiten con el hombre por la obtención de alimentos y amenazan la salud de los animales y de los seres humanos. Algunos insectos destruyen valiosos cultivos alimentarios, estimándose que a escala mundial las pérdidas de las cosechas ocasionadas por los insectos pueden ascender a más del 10% de la cosecha total, lo que equivale a perder la producción de todo un país como EE.UU.

Tradicionalmente la lucha contra las plagas de insectos se ha realizado empleando productos químicos (insecticidas). Ello ha creado a veces problemas de contaminación ambiental y de presencia de residuos tóxicos en nuestros alimentos. Además, muchos insectos han desarrollado resistencia a los insecticidas, lo que se traduce en la utilización de cantidades cada vez mayores de estos productos. Por lo tanto hace ya muchos años que era evidente la necesidad de nuevos criterios y metodologías de lucha contra los insectos.

### La técnica de insectos estériles (TIE)

*¿En qué consiste la técnica?*

Para la TIE los insectos cuya plaga se quiere erradicar, se producen en grandes plantas de cría para posteriormente esterilizarlos sexualmente con radiación gamma y liberarlos al medio ambiente. Cuando los insectos estériles se aparean con los insectos silvestres no se producen crías, lo que hace que la población de insectos (plaga) disminuya progresivamente.

La TIE es una técnica muy eficaz y respetuosa con el medio ambiente, ya que sólo se verá afectado el insecto que se quiere erradicar. La técnica es más eficaz cuando menor es la densidad de insectos en la plaga. Además, la TIE puede utilizarse junto con métodos más tradicionales, como el uso de insecticidas.

### Aplicaciones hidrológicas

La escasez y degradación del agua son causa de creciente preocupación para los países de todo el mundo. Hoy día, más de un billón de personas no tiene acceso a agua limpia. Según la FAO la demanda de agua dulce se está duplicando cada 21 años. A medida que la contaminación industrial, agrícola y doméstica amenaza los recursos finitos, el agua resulta un recurso cada vez más valioso

El agua es uno de los bienes más preciados que tenemos, ya que sin agua, no hay vida.

Está claro que si no se organizan mejor los recursos hídricos podría producirse una reducción del crecimiento económico y plantearse peligros potenciales para la salud humana y el medio ambiente.

La hidrología isotópica permite conocer el comportamiento del agua y ayuda a establecer las bases para un uso racional de este valioso recurso. Los isótopos radiactivos, tanto naturales como artificiales, pueden resolver o ayudar a resolver importantes problemas hidrológicos. Una ventaja de las técnicas nucleares es que pueden ofrecer una respuesta definitiva en poco tiempo y que las mediciones son relativamente baratas. Las técnicas isotópicas pueden ser de gran utilidad para impulsar el desarrollo y aprovechamiento de los recursos hídricos en cualquier lugar. Estas técnicas proporcionan información inestimable sobre las fuentes, el movimiento y el volumen de agua en distintos medios, incluidos ríos y lagos y resultan particularmente útiles para investigar las reservas de agua que existen bajo la superficie de la tierra, las aguas subterráneas.

### ¿Qué información pueden aportar los isótopos en hidrología?

La aplicación de técnicas isotópicas en hidrología va a permitir obtener información muy valiosa sobre las aguas subterráneas, en lo que se refiere a su origen, edad, distribución, calidad del agua, presencia y mecanismos de recarga o existencia de interconexiones entre los cuerpos de agua subterránea (acuíferos).

Estas técnicas también pueden ayudar a conocer mejor aspectos muy diversos de las aguas superficiales, como son la dinámica de lagos y embalses, posibles filtraciones de las represas, descargas de los ríos, transporte de sedimentos suspendidos y del fondo, la tasa de sedimentación y otros datos sobre litología, porosidad y permeabilidad de acuíferos.

Las técnicas isotópicas no pueden "descubrir" las aguas subterráneas. Sin embargo, en el caso de algunos manantiales, los isótopos pueden ofrecer indicaciones preliminares de las trayectorias de flujo y orígenes del agua.

### ¿Cómo pueden los isótopos ayudarnos a conocer los recursos hídricos?

Isótopos naturales como el tritio (H-3) y el radiocarbono (C-14) se producen en ínfimas cantidades en la atmósfera. Estos isótopos son radiactivos, lo que significa que se desintegran con el tiempo. Estos se infiltran en las aguas subterráneas con las precipitaciones y pueden medirse con equipos sensibles especializados. El hecho de conocer el periodo de semidesintegración de estos isótopos permite medir sus concentraciones para interpretar su "edad" o tiempo de permanencia en las aguas subterráneas. El tiempo de permanencia indica la tasa de renovación y la velocidad de flujo de las aguas subterráneas. Así, registrando los niveles de tritio radiactivo en el suelo a diversas profundidades, se puede medir la tasa de recarga de las aguas subterráneas, aspecto crítico en la gestión de recursos hídricos.

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.

### Uso de la radiación ionizante para mejorar la producción de alimentos

#### 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.

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 carne animal, leche, lana, etc. en muchos países.

### 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.

### 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.

### ¿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

### ¿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.



## 9. Residuos Radiactivos

Los residuos radiactivos son aquellos materiales para los que no está previsto un uso posterior y que contienen, o están contaminados, con radionucleidos en concentraciones superiores a unos niveles máximos establecidos por las autoridades competentes.

En España, el tratamiento de los residuos radiactivos está regulado por el Plan General de Residuos Radiactivos que aprueba el Gobierno y ejecuta la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA), creada en 1984 y cuya misión es la gestión de los residuos radiactivos y el desmantelamiento de instalaciones nucleares.

El objetivo de la gestión de este tipo de residuos es su inmovilización y aislamiento del medio ambiente, garantizando que no exista riesgo radiológico para las personas ni el medio ambiente y minimizando las cargas para las generaciones futuras.

### Origen de los residuos

La actividad que genera mayor cantidad de residuos radiactivos es la producción de energía en las centrales nucleares. En este punto, se incluyen los residuos generados durante el ciclo del combustible nuclear: minería, fabricación de elementos combustibles y todas las actividades asociadas a su utilización en los reactores nucleares.

También se generan residuos radiactivos, aunque en menor volumen, en la aplicación de isótopos radiactivos en la industria, laboratorios de investigación o unidades de medicina nuclear de hospitales.

### Clasificación para su almacenamiento

De cara a su almacenamiento, los residuos radiactivos se clasifican en residuos de baja y media actividad, y residuos de alta actividad. En España se producen aproximadamente 1.500 toneladas de residuos de baja y media actividad y unas 160 toneladas de residuos de alta actividad

### **Residuos de baja y media actividad**

Son aquellos que contienen isótopos emisores beta o gamma, cuyo periodo de semidesintegración es inferior o igual a 30 años y no desprende calor.

### **Residuos de Alta Actividad**

Los residuos de alta actividad son los que contienen isótopos emisores alfa, cuyo periodo de semidesintegración es superior a 30 años y pueden desprender calor.

Están constituidos principalmente por el combustible gastado de las centrales nucleares, en caso de no reprocesamiento del mismo.

### **¿Cómo se realizará el transporte de los residuos hasta el ATC?**

El transporte de materiales radiactivos se realiza de acuerdo con el Reglamento de Transportes del Organismo Internacional de Energía Atómica y con directivas europeas.

Para garantizar la seguridad, se emplean contenedores diseñados para resistir cualquier eventualidad, medios de transporte dotados de diversos sistemas de seguridad y conductores altamente especializados.

En el mundo, durante los últimos treinta años, se han realizado más de 30 millones de kilómetros de transportes de residuos de alta actividad, y no se ha producido accidente radiológico alguno.

### **El contenedor de transporte**

El contenedor de transporte consiste en un cilindro de acero con distintos tipos de blindajes, en cuyo interior se transporta el combustible gastado.



**Contenedor del almacenamiento en seco del ATI de Trillo**

Las pruebas a las que es sometido este contenedor garantizan su integridad ante cualquier incidencia:

Caída libre desde 9m de altura.

Caída libre desde 1m de altura sobre un punzón de acero.

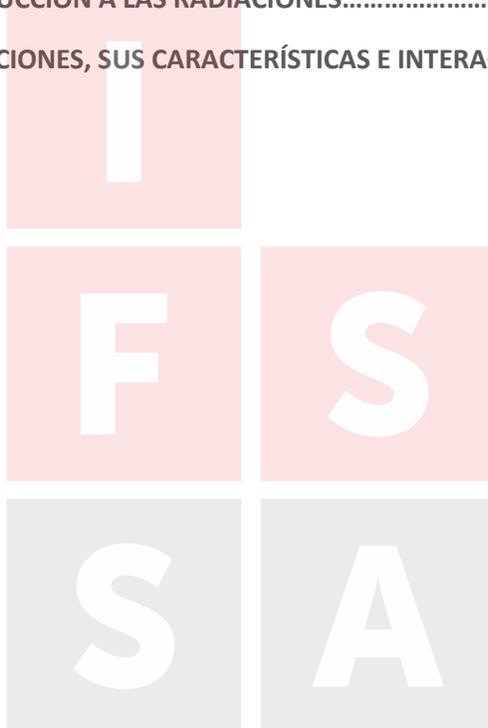
Resistencia al fuego a 800°C durante 30 minutos.

Pruebas de inmersión a diferentes profundidades.

Adicionalmente, los contenedores han superado ensayos simulando situaciones extremas, como el impacto de una locomotora a más de 130 km/h.

## Contenido

<b>PROGRAMA DE LA MATERIA .....</b>	<b>1</b>
<b>UNIDAD I: CONCEPTOS INTRODUCTORIOS Y MATERIA .....</b>	<b>2</b>
<b>UNIDAD II: ENERGIA E INTRODUCCION A LAS RADIACIONES.....</b>	<b>17</b>
<b>UNIDAD N° 3: TIPOS DE RADIACIONES, SUS CARACTERÍSTICAS E INTERACCIONES.....</b>	<b>38</b>



INSTITUTO DE  
FORMACIÓN  
SUPERIOR