



INSTITUTO DE  
FORMACIÓN  
SUPERIOR

**APUNTES DE CATEDRA**  
FÍSICA BIOLÓGICA

Prof- Msc. Jéssica Ferreyra | Tecnicatura Superior en Radiología | Año 2020

## Contenido

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| <b>PROGRAMA DE LA MATERIA</b> .....  | 1 |
| <b>DESARROLLO DEL PROGRAMA</b> ..... | 2 |
| <b>UNIDAD I</b> .....                | 2 |

### PROGRAMA DE LA MATERIA

#### **UNIDAD I:**

Introducción a la física radiológica y biológica. Historia de la radiación. Descripción y categorización de conceptos básicos en física. Fuentes de radiación. Radiación natural y radiación artificial. Ley de desintegración, periodos, velocidad, concepto de actividad. Fundamentos físicos de las radiaciones. Rayos X, concepto y propiedades.

#### **Unidad II:**

Producción de RX, tubo de RX. Mecanismos de producción de rayos X. Efecto Edison. Concepto. Nube electrónica. Interacción de los rayos x con la materia. Dispersión coherente. Concepto y descripción. Dispersión Compton. Concepto y descripción. Efecto Fotoeléctrico. Concepto y descripción. Formación de pares. Concepto y descripción. Fotodesintegración. Concepto y descripción. Efecto anódico. Concepto.

#### **Unidad III**

Radiación de partículas. Radiación electromagnética. Radiación ionizante y no ionizante. Radiaciones ionizantes: alfa, beta, X y gamma. Radiación de frenado o Bremsstrahlung. Concepto. Radiación característica. Concepto. Radiación dispersa. Radiación de fuga. Conceptos. Radiación residual. Radiofrecuencia. Ultrasonido. Magnetismo

#### **Unidad IV**

Radiactividad. Isotopos y radioisótopos. Semivida radiactiva. Familias radiactivas. Concepto. Magnitudes dosimétricas y efectos sobre tejidos vivos. Interacción de la radiación con la materia. Fundamentos y sistemas de protección radiológica según tipo de radiación. Introducción a la radioprotección ocupacional y a la radiofísica sanitaria. Dosimetría. Límites de dosis.

## DESARROLLO DEL PROGRAMA

### UNIDAD I

**Materia:** es todo lo que tiene una masa y ocupa un espacio. La masa es la medida de la cantidad de materia que posee un cuerpo. El kilogramo es la unidad científica de la masa y no está relacionada con los efectos gravitatorios. El prefijo kg representa 1000; un kilogramo (kg) es igual a 1000 gramos (g).

Los bloques de construcción complejos fundamentales de la materia son los átomos y las moléculas.

**Energía:** es la capacidad de un sistema para realizar trabajo. En el Sistema Internacional (SI) de unidades la energía se mide en julios (J). En radiología se usa con frecuencia la unidad electronvoltio (eV). Como la materia, puede existir en diferentes formas listadas a continuación:

- **Energía Potencial** es la capacidad de realizar un trabajo por medio de la posición.
- **Energía cinética** es la energía del movimiento. 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.
- **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 220 voltios (V). Todos los aparatos eléctricos, como los motores, calentadores y ventiladores, funcionan mediante el uso de energía eléctrica.
- **Energía Térmica o calórica** 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.

## RADIACION

La energía emitida y transferida en el espacio se denomina **radiación**, no tiene masa, viaja a la velocidad de la luz y se desplaza en forma de ondas de energía o partículas energizadas. Puede provenir de átomos inestables sometidos a la desintegración radiactiva o puede ser producida por maquinas.

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**.

Hay diferentes formas de radiación con propiedades y efectos distintos.

## FOTONES

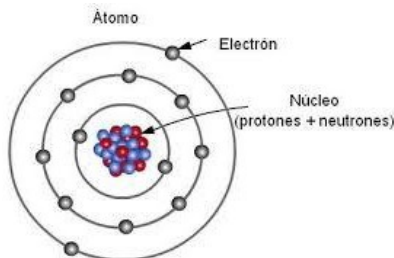
Un fotón es la cantidad más pequeña de cualquier tipo de energía electromagnética, de la misma manera que un átomo es la parte más pequeña de un elemento. Un fotón puede describirse como un pequeño haz de energía, a veces llamado **cuanto**, que viaja a través del espacio a la velocidad de la luz ( $c=3 \times 10^8$  m/s). Hablamos de fotones de rayos X, fotones de luz y otros tipos de radiación electromagnética como radiación fotónica.

A pesar de que los fotones no tienen masa y, en consecuencia, no tienen forma definida, sí que tienen campos eléctrico y magnético que varían continuamente de forma sinusoidal.

## Estructura atómica:

Los átomos tienen una estructura compleja, pero de forma simplificada, se considera que están constituidos por una parte central muy pequeña donde se concentra casi toda la masa atómica, denominado núcleo atómico, y por una envoltura externa de la que dependen propiedades químicas denominada corteza atómica.

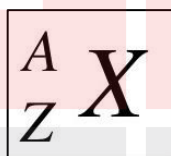
- El núcleo está formado por partículas más pequeñas: los nucleones. Existen dos tipos: protones y neutrones. Ambas tienen prácticamente la misma masa, pero los protones tienen carga eléctrica positiva mientras que los neutrones no están cargados.
- La corteza rodea al núcleo y forma una nube de partículas de masa muy pequeña compuesta por electrones de carga negativa, que se mueven en una órbita alrededor del núcleo. Estos se disponen en distintas capas electrónicas, de las cuales pueden ser arrancados dependiendo la capa en la que estén situados.



**TABLA 3-1** Características importantes de las partículas fundamentales

| Partícula | Localización | Relativa | MASA                    |          | Número | Carga | Símbolo |
|-----------|--------------|----------|-------------------------|----------|--------|-------|---------|
|           |              |          | Kilogramos              | uma      |        |       |         |
| Electrón  | Capas        | 1        | $9,109 \times 10^{-31}$ | 0,000549 | 0      | -1    | -       |
| Protón    | Núcleo       | 1.836    | $1,673 \times 10^{-27}$ | 1,00728  | 1      | +1    | +       |
| Neutrón   | Núcleo       | 1.838    | $1,675 \times 10^{-27}$ | 1,00867  | 1      | 0     | 0       |

Un átomo es completamente especificado por la siguiente nomenclatura:



Donde X es el símbolo químico para un determinado elemento, A es el numero másico y Z el numero atómico.

- Número másico (A): Número de protones más el de neutrones que tiene en el núcleo.
- Número atómico (Z): Número de protones que tiene en el núcleo (o el número de electrones fuera del núcleo).

Ejemplo:  ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^{60}_{27}\text{Co}$

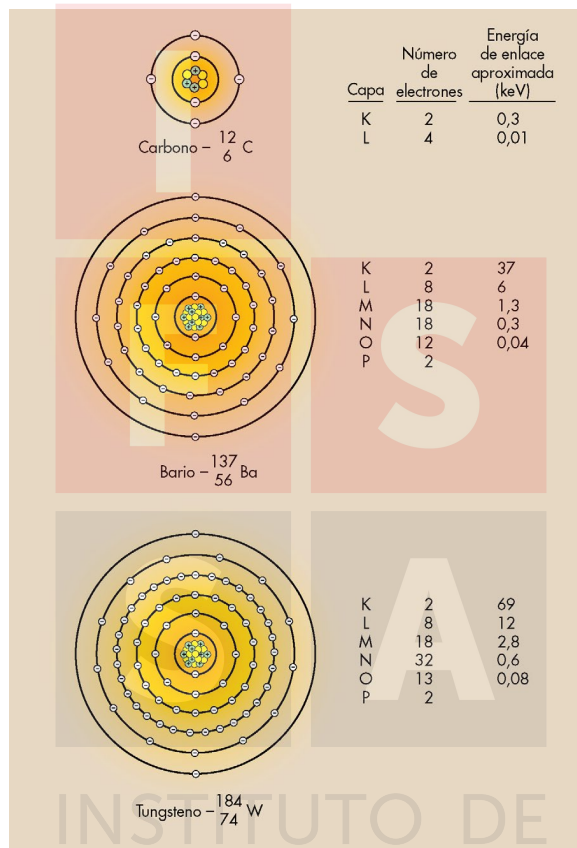
Existen 7 niveles de energía o capas, donde pueden situarse los electrones, enumerados desde el 1 más interno, al 7 más externo.

A su vez cada nivel, tiene sus electrones repartidos en distintos subniveles, que pueden ser s, p, d, f.

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.

La distribución de orbitales y número de electrones posibles en los 4 primeros niveles se resume en la siguiente tabla:

|  |    |       |            |              |
|--|----|-------|------------|--------------|
| Niveles de energía                           | 1  | 2     | 3          | 4            |
| Subniveles                                   | s  | s p   | s p d      | s p d f      |
| Número de orbitales de cada tipo             | 1  | 1 3   | 1 3 5      | 1 3 5 7      |
| Denominación de los orbitales                | 1s | 2s 2p | 3s 3p 3d   | 4s 4p 4d 4f  |
| Número máximo de electrones en los orbitales | 2  | 2 - 6 | 2 - 6 - 10 | 2- 6- 10- 14 |
| Número máximo de electrones por nivel        | 2  | 8     | 18         | 32           |



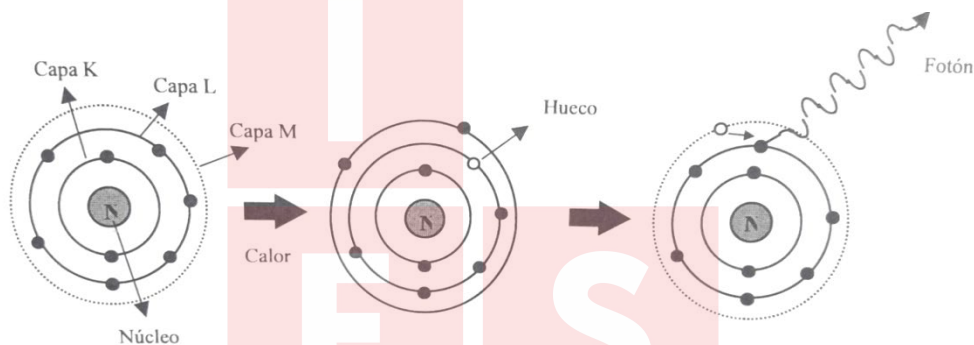
La configuración electrónica en la corteza de un átomo es la distribución de sus electrones en los distintos niveles y orbitales. Los electrones se van situando en los diferentes niveles y subniveles por orden de energía creciente hasta completarlos. Es importante saber cuántos electrones existen en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

En un átomo neutro (carga eléctrica nula) existen igual número de protones que de electrones. Cuando en un átomo no es igual el número de electrones que de protones, este está cargado eléctricamente, positiva o negativamente, y se denomina ion.

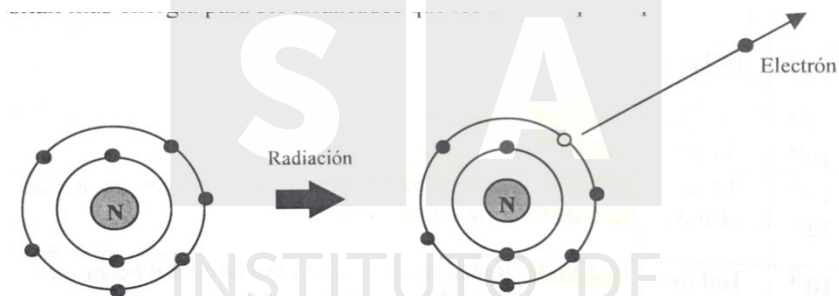
**IONIZACION Y EXCITACIÓN**

Los electrones en un átomo tienden a ocupar las capas más cercanas al núcleo. Si por cualquier motivo los electrones pasan de un nivel fundamental a una capa más alejada se dice que el átomo se encuentra excitado. En esta situación los átomos no son estables y tienden a volver al estado fundamental, es decir los electrones tienden a caer a las capas más profundas. En este proceso pueden emitirse fotones de energía igual a la diferencia de energía entre las capas que salta el electrón. Cuando más separadas estén las capas, mayor energía tendrá el fotón emitido.

Como existen muchas capas en la corteza atómica los fotones emitidos pueden ser de distintas energías.



Si se suministra suficiente energía al electrón este puede alejarse tanto del núcleo que llegue a escapar de él, quedando el átomo cargado positivamente. Este proceso se conoce como ionización. Los electrones de las capas más profundas (cerca del núcleo) necesitan más energía para ser arrancados que los de las capas superficiales.



**ALGUNOS CONCEPTOS GENERALES A RECORDAR**

| TABLA 2-1 Sistema de unidades |                |                |                 |             |
|-------------------------------|----------------|----------------|-----------------|-------------|
|                               | SI*            | MKS            | CGS             | Británico   |
| Longitud                      | Metro (m)      | Metro (m)      | Centímetro (cm) | Pie (ft)    |
| Masa                          | Kilogramo (kg) | Kilogramo (kg) | Gramo (g)       | Libra (lb)† |
| Tiempo                        | Segundo (s)    | Segundo (s)    | Segundo (s)     | Segundo (s) |

CGS, sistema de centímetros, gramos y segundos; MKS, sistema de metros, kilogramos y segundos; SI, sistema internacional.

\*El SI incluye cuatro unidades básicas adicionales.

†La libra es en realidad una unidad de fuerza aunque está relacionada con la masa.

**TABLA 2-3** Resumen de las cantidades, ecuaciones y unidades utilizadas en mecánica

| Cantidad           | Símbolo   | Ecuación de definición          | SI               | Británica         |
|--------------------|-----------|---------------------------------|------------------|-------------------|
| Velocidad          | v         | $v = d/t$                       | m/s              | ft/s              |
| Velocidad promedio | $\bar{v}$ | $\bar{v} = \frac{v_0 - v_1}{2}$ | m/s              | ft/s              |
| Aceleración        | a         | $a = \frac{v_1 - v_0}{t}$       | m/s <sup>2</sup> | ft/s <sup>2</sup> |
| Fuerza             | F         | $F = ma$                        | N                | lb                |
| Peso               | Wt        | $Wt = mg$                       | N                | lb                |
| Impulso            | p         | $p = mv$                        | kg·m/s           | ft·lb/s           |
| Trabajo            | W         | $W = Fd$                        | J                | ft·lb             |
| Potencia           | P         | $P = W/t$                       | W                | hp                |
| Energía cinética   | EC        | $EC = \frac{1}{2} mv^2$         | J                | ft·lb             |
| Energía potencial  | EP        | $EP = mgh$                      | J                | ft·lb             |

**TABLA 2-4** Diferentes maneras de representar los números en el sistema decimal

| Forma fraccional | Forma decimal | Forma exponencial | Forma logarítmica |
|------------------|---------------|-------------------|-------------------|
| 10.000           | 10.000        | $10^4$            | 4,000             |
| 1.000            | 1.000         | $10^3$            | 3,000             |
| 100              | 100           | $10^2$            | 2,000             |
| 10               | 10            | $10^1$            | 1,000             |
| 1                | 1             | $10^0$            | 0,000             |
| 1/10             | 0,1           | $10^{-1}$         | -1,000            |
| 1/100            | 0,01          | $10^{-2}$         | -2,000            |
| 1/1.000          | 0,001         | $10^{-3}$         | -3,000            |
| 1/10.000         | 0,0001        | $10^{-4}$         | -4,000            |

**TABLA 2-6** Prefijos científicos y de ingeniería estandarizados

| Múltiple   | Prefijo | Símbolo |
|------------|---------|---------|
| $10^{18}$  | exa-    | E       |
| $10^{15}$  | petá-   | P       |
| $10^{12}$  | tera-   | T       |
| $10^9$     | giga-   | G       |
| $10^6$     | mega-   | M       |
| $10^3$     | kilo-   | k       |
| $10^2$     | hecto-  | h       |
| 10         | deca-   | da      |
| $10^{-1}$  | deci-   | d       |
| $10^{-2}$  | centi-  | c       |
| $10^{-3}$  | mili-   | m       |
| $10^{-6}$  | micro-  | $\mu$   |
| $10^{-9}$  | nano-   | n       |
| $10^{-12}$ | pico-   | p       |
| $10^{-15}$ | femto-  | f       |
| $10^{-18}$ | atto-   | a       |

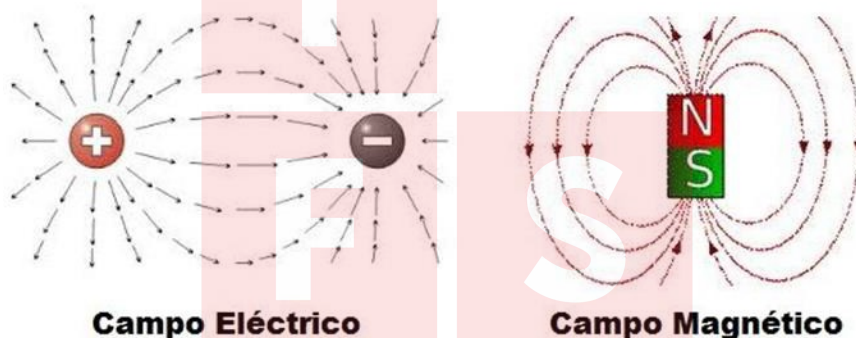


### ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

La Luz, el microondas, rayos X, y las retransmisiones de televisión y de radio son todos ejemplos de tipos de ondas electromagnéticas.

La electricidad estática puede ser la que se obtiene al frotar un globo a la ropa y si pones tu pelo cerca se ponen los pelos de punta. Se crea un campo eléctrico o lo que es lo mismo, una región del espacio donde hay electricidad (estática).

El imán genera un campo magnético, es decir una región del espacio donde imanta (atrae hierro), fuera de esa región no hay efecto de imantar. Si ponemos un trozo de hierro muy lejos del imán (fuera de su campo), el trozo de hierro no será atraído.



Cuando se cambian o se mueven juntos los dos campos, el eléctrico y el magnético, generan ondas electromagnéticas.

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.

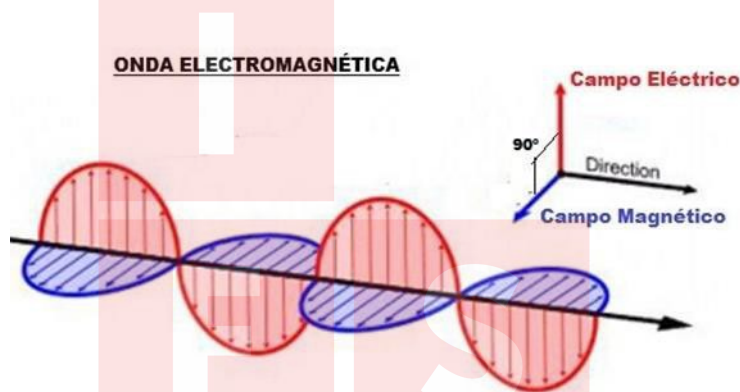
Estas radiaciones electromagnéticas generan unas ondas que se pueden propagar (viajar) por el aire e incluso por el vacío. Imaginemos que movemos de forma oscilatoria (de arriba a abajo) una partícula cargada eléctricamente (o magnéticamente) como la de la figura:



Como vemos se crea una perturbación a su alrededor, que es lo que llamamos una onda. Esta onda depende de la velocidad y la fuerza con la que movamos la partícula, y de la amplitud o distancia entre el inicio y el final del recorrido.

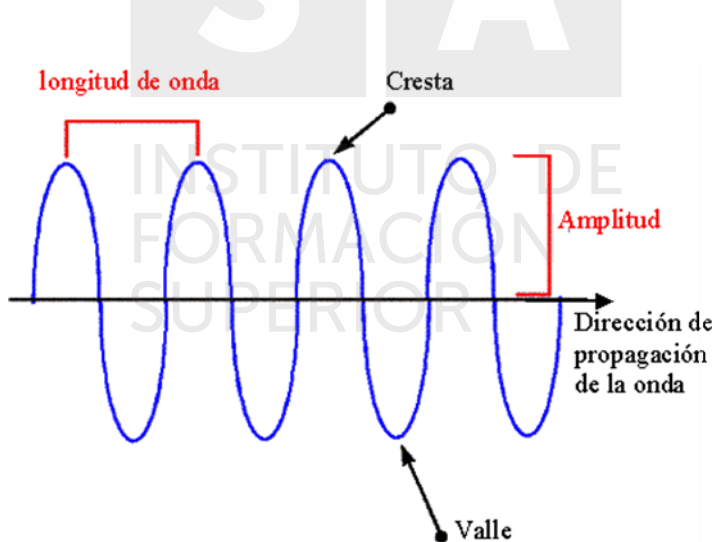
Cambiando estos valores podemos cambiar el tamaño de la onda. La onda generada tendrá la misma forma pero más grande y/o con más ondulaciones por segundo.

Si la partícula tiene un componente eléctrico, pero también uno magnético ya tenemos generada una radiación electromagnética, con su onda electromagnética.



Las ondas electromagnéticas se forman cuando un campo eléctrico (que se muestra en flechas rojas) se combina con un campo magnético (que se muestra en flechas azules). Los campos magnéticos y eléctricos de una onda electromagnética son perpendiculares entre sí y a la dirección de la onda.

Para medir una onda tenemos 3 datos muy importantes como podemos ver en la siguiente figura:



**Partes de una Onda Electromagnética**

**Longitud de Onda:** Distancia entre el inicio y el final de una oscilación. Es inversamente proporcional a la frecuencia, es decir si aumento la longitud de onda disminuye la frecuencia o si disminuyo la longitud de la onda aumento la frecuencia.

**Amplitud:** Es la máxima perturbación de la onda. La mitad de la distancia entre la cresta y el valle.

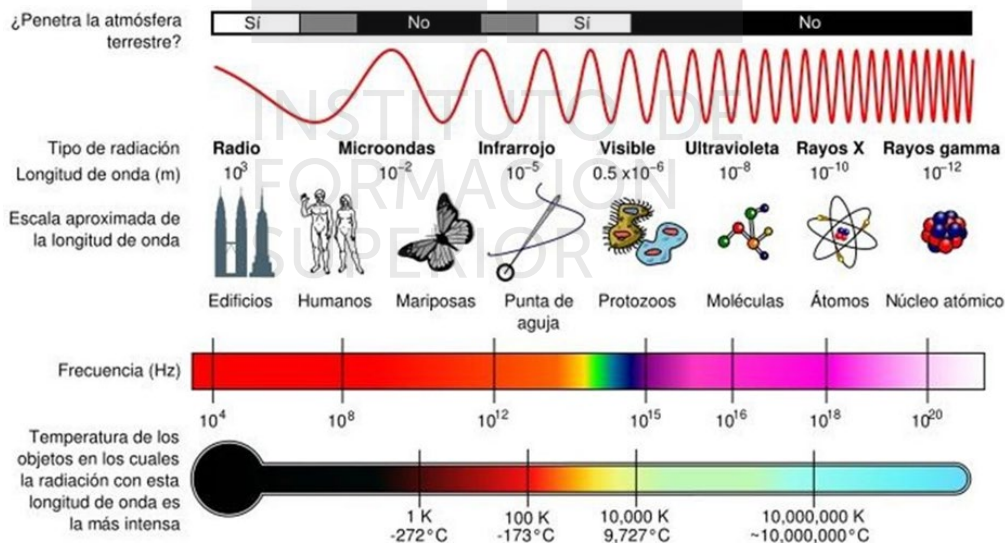
**Frecuencia:** Número de veces que se repite la onda por unidad de tiempo. Si se usa el Hertzio (Hz) es el número de veces que se repite la onda por cada segundo. La frecuencia es directamente proporcional a la energía, es decir si aumento una la otra también aumenta.

**Velocidad:** la velocidad de la onda depende del medio por el que se propague (por donde viaje). Si la onda viaja por el vacío su velocidad es igual a la de la luz 300.000 Km/segundo. Si se propaga por el aire cambia, pero es prácticamente igual a la del vacío.

Las ondas electromagnéticas se usan para la radio, la televisión, internet, etc. Pero tenemos un problema. Por el aire viajan muchas ondas. ¿Cómo las diferenciamos? Pues por su Frecuencia (recuerda número de veces que se repite la onda), pero es que además a mayor frecuencia, menor longitud de la onda.

Piensa en una cuerda cuando la movemos (frecuencia con la que la movemos), si la movemos muy lentamente creamos ondas muy anchas (mucho longitud de onda) pero si la movemos muy rápido las ondas son más estrechas (poca longitud de onda): Frecuencia grande = Longitud de onda pequeña y Frecuencia pequeña = longitud de onda grande.

Ya tenemos nuestras ondas diferenciadas por su longitud de onda o por su frecuencia. Se ha creado una escala para clasificarlas, por orden creciente de longitudes de onda (o decreciente por su frecuencia) llamada Espectro Electromagnético. Dependiendo de la onda pertenecerá a un espectro u a otro.



### 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. 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.

Se lo mide en Hertzios, Mega Hertzios, etc, es decir por su frecuencia (podría ser por su longitud de onda).

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 baja no se ven, por ejemplo las de la radio, pero existen.

### Dualidad onda-partícula

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.

### Modelo de partículas

Teoría cuántica: A diferencia de otras zonas del espectro electromagnético, los rayos X se suelen identificar por su energía, medida en electronvoltios (eV). La energía de los rayos X abarca aproximadamente desde los 10 keV hasta los 50 MeV.

La frecuencia de estos fotones varía desde unos 10<sup>18</sup> a 10<sup>22</sup> Hz.

Un fotón de rayos X puede concebirse como si contuviera un campo eléctrico y un campo magnético que varía sinusoidalmente, formando un ángulo recto entre ellos y con un comienzo y final con amplitud decreciente.

La longitud de onda de un fotón de rayos X se calcula como la de cualquier otro tipo de energía electromagnética: es la distancia desde cualquier posición de la onda sinusoidal a la posición correspondiente de la siguiente onda. La frecuencia de un fotón de rayos X se mide como la frecuencia de cualquier fotón electromagnético mediante la ecuación de ondas.

Los rayos X son producidos con la velocidad de la luz (c) y o existen a tal velocidad (c) o no existen. Ésta es una de las afirmaciones básicas de la teoría cuántica de Planck.

Otra consecuencia importante de esta teoría es la relación entre la energía y la frecuencia: la energía de un fotón es directamente proporcional a su frecuencia. La constante de proporcionalidad, conocida como constante de Planck y representada por  $h$ , tiene un valor numérico de  $4,15 \times 10^{-15}$  eVs o  $6,63 \times 10^{-34}$  Js.

### 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.

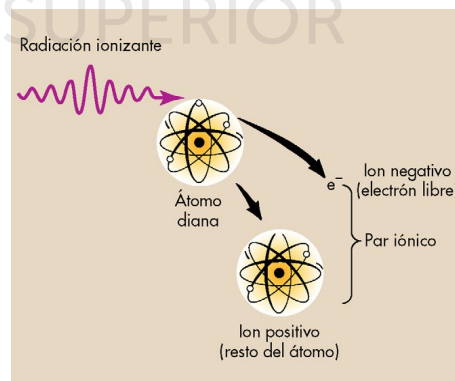
Si la fuente de radiación no es un punto sino una línea, como una lámpara fluorescente, la ley de la inversa del cuadrado no se cumple para distancias cercanas a la fuente. Para distancias suficientemente grandes a la fuente se puede aplicar la ley de la inversa del cuadrado. La ley de la inversa del cuadrado puede aplicarse a distancias mayores de siete veces la magnitud mayor de la fuente.

### **Radiación ionizante y no ionizante:**

Hay dos tipos de radiación:

La radiación ionizante Radiación ionizante es cualquier tipo de radiación capaz de retirar un electrón orbital del átomo con el que interactúa. Este tipo de interacción entre la radiación y la materia se denomina **ionización**. La radiación ionizante puede afectar a los átomos en los seres vivos, de manera que presenta un riesgo para la salud al dañar el tejido y el ADN de los genes. Se clasifica en:

- Radiación directamente ionizante (partículas cargadas: electrones, protones, partículas  $\alpha$ ,  $\beta$ , iones pesados)
- Radiación indirectamente ionizante (partículas neutras: fotones (rayos x y  $\gamma$ ), neutrones)



La radiación no ionizante no tiene energía suficiente para eliminar los electrones de los átomos. Ejemplos de este tipo de radiación son las ondas de radio, la luz visible y las microondas.

### FUENTES DE RADIACION IONIZANTE

La mayor parte de la radiación recibida por la población del mundo proviene de fuentes naturales (**radiación ambiental natural**), siendo inevitable la exposición a la mayoría de ellas. Durante las últimas décadas, el hombre ha producido artificialmente radionucleidos y ha aprendido a utilizar la energía nuclear con diferentes propósitos, tales como la aplicación con fines médicos, la generación de energía eléctrica, la prospección de minerales, etc. Estas fuentes, denominadas **radiación artificial**, aumentan la dosis de radiación recibida por los individuos y por la sociedad en su conjunto

- **FUENTES NATURALES**

La humanidad ha evolucionado en un ambiente naturalmente radiactivo. La Tierra es bombardeada por rayos cósmicos del espacio y toda la materia contiene algunos rastros de sustancias radiactivas. Las personas están expuestas a la radiación externa, suma de la radiación cósmica y de la radiación emitida por los radionucleidos naturales existentes en la corteza terrestre, y a la irradiación interna, debida a aquellos radionucleidos naturales incorporados a los alimentos, a las bebidas y presentes en el aire inhalado.

La dosis media anual debida a todas estas fuentes combinadas es alrededor de 2,4 mSv1, con grandes variaciones alrededor de ese valor.

### RADIACIÓN CÓSMICA

La radiación cósmica que llega a las capas superiores de la atmósfera de la Tierra proviene de más allá del sistema solar e incluso de más allá de nuestra galaxia; solo una fracción pequeña proviene del sol.

Consiste, principalmente en: protones, partículas alfa, núcleos pesados, electrones y radiación gamma, con un amplio rango de distribución energética.

La radiación cósmica primaria es alterada sustancialmente en su pasaje a través de la atmósfera, donde la mayor parte de la misma es absorbida antes de que llegue a nivel del mar. Consecuentemente, la altura sobre nivel del mar es el factor principal que influye en las dosis recibidas en las personas por radiación cósmica.

La dosis media que reciben las personas, a nivel del mar, por radiación cósmica, es aproximadamente 0,4 mSv1 en un año.

### RADIACIÓN TERRESTRE

El hombre está expuesto a irradiación externa proveniente de radionucleidos naturales contenidos en suelos y rocas, principalmente potasio 40, rubidio 87 y dos series de elementos radiactivos provenientes de la desintegración del uranio 238 y del torio 232. Los niveles de radiación terrestre dependen de la geología local, del contenido de humedad y de otras condiciones atmosféricas.

La dosis media que las personas reciben por radiación terrestre es aproximadamente 0,5 mSv1 en un año, pero, hay grandes variaciones alrededor de este promedio; muchas personas reciben diez veces más, y algunas personas que, viviendo en zonas con ciertos tipos de arenas, reciben hasta cien veces el valor promedio.

Debido a las fuentes radiactivas naturales que se encuentran en el aire que respiramos, en el agua que bebemos y en los alimentos que ingerimos, el hombre es irradiado internamente.

Esta dosis interna proviene, casi totalmente, del potasio 40 y del radón 222 y 220 y de sus productos de decaimiento.

El potasio es un componente esencial de todas las células. Un hombre adulto tiene en su cuerpo alrededor de

100 gramos de potasio, de los que aproximadamente 16 miligramos corresponden al potasio 40. La dosis promedio recibida por esta fuente de radiación es aproximadamente 0,2 mSv al año, y varía poco de persona a persona.

El radón 222 y sus productos de decaimiento, así como en menor magnitud el radón 220 y sus productos de decaimiento, son las fuentes más importantes de exposición a la radiación para la mayoría de las personas. Proviene del decaimiento del uranio y del torio en la corteza terrestre. Estos gases son emanados de la tierra, a una tasa que depende de diferentes factores tales como: la geología y la condición del suelo, la cobertura vegetal, etc.

Al aire libre, se dispersan rápidamente y sus concentraciones, y las dosis resultantes cuando se inhalan, son bajas. Sin embargo, cuando ellos penetran en un edificio, por ejemplo filtrándose a través del suelo, por antiguas cañerías de agua y desagüe, o son emitidos por los radionucleidos naturales contenidos en los materiales de construcción de pisos y paredes, las concentraciones suben, a menos que el edificio esté muy bien ventilado. Los radones son químicamente inertes y sólo ligeramente radiactivos, dando dosis directas muy pequeñas.

Sin embargo, sus productos de decaimiento radiactivos (principalmente el polonio, bismuto e isótopos del plomo) son radiactivos, y se pegan a las partículas de polvo y gotas de agua.

Éstas pueden inhalarse y depositarse en la superficie del pulmón el cual, por consiguiente, es irradiado. Un espectro muy amplio de dosis derivan de esta fuente, dependiendo de la geología local, los materiales y métodos de construcción, y de la ventilación de los edificios.

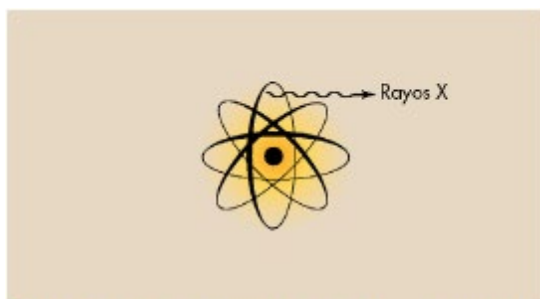
La dosis promedio recibida debido a esta fuente de radiación es 1,3 mSv<sup>2</sup> en un año, pero las exposiciones pueden llegar hasta cien veces el valor promedio, y en algunos casos raros y extremos, como por ejemplo, algunas casas construidas en terrenos de escombreras de antiguas minas de uranio, la dosis recibida puede ser más de mil veces el valor promedio.

- **FUENTES ARTIFICIALES**

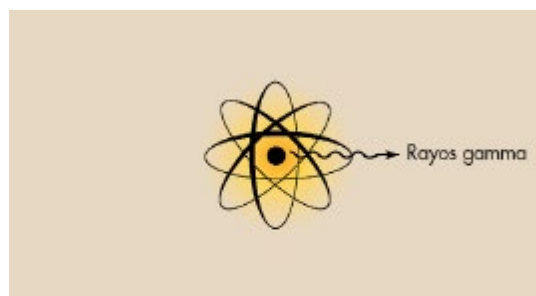
Los usos de la radiación y de los materiales radiactivos se han extendido enormemente, en particular desde el descubrimiento y desarrollo de la fisión nuclear y la disponibilidad de una extensa variedad de radionucleidos artificiales. Muchas personas se han beneficiado de una u otra manera, con las aplicaciones de las fuentes artificiales de radiación, como por ejemplo, con los usos médicos, la producción de energía eléctrica, la industria manufacturera, el control en la agricultura. Pero todas estas aplicaciones producen exposiciones a la radiación.

**Los rayos X**

Debido a su uso en medicina, casi todos conocen los rayos X. Los rayos X son similares a los rayos gamma en el sentido que son fotones de energía pura. Los rayos X y los rayos gamma tienen las mismas propiedades básicas pero provienen de partes diferentes del átomo. Los rayos X son emitidos por procesos externos al núcleo, pero los rayos gamma se originan en el interior del núcleo. Por lo general, tienen menos energía y, por lo tanto, son menos penetrantes que los rayos gamma. Los rayos X se pueden producir naturalmente o por medio de máquinas eléctricas.



**FIGURA 4-8** Los rayos X se producen en el exterior del núcleo de átomos excitados.



**FIGURA 4-9** Los rayos gamma se producen en el interior del núcleo de átomos radiactivos.

A diario, se usan literalmente millares de máquinas de rayos X en medicina. La tomografía computarizada, conocida comúnmente como TC o TAC, usa equipos de rayos X especiales para tomar imágenes detalladas de los huesos y tejidos blandos del cuerpo. Las radiografías médicas son la fuente más extensa de exposición a radiación producida por el hombre. Los voltajes de rayos X se miden en picos de kilovoltios (**kVp**). Un kilovoltio (**kV**) es equivalente a 1.000 V de potencial eléctrico. Las corrientes de rayos X se miden en miliamperios (**mA**), donde el amperio (A) es la medida de la corriente eléctrica.

### Historia de los Rayos X

Los rayos X fueron descubiertos accidentalmente por el profesor Wilhelm Conrad Roentgen el 8 de noviembre de 1895, se encontraba haciendo experimentos con los tubos de Crookes y observó unos extraños rayos que atravesaban papel y metal, lo que lo llevó a investigarlos durante varias semanas.

Todo empezó con los experimentos de un científico británico llamado William Crookes, el cual investigó, en el siglo XIX, los efectos de algunos gases cuando se les aplicaba algunas descargas eléctricas, todo esto dentro de tubos vacíos y electrodos para generar un alto voltaje en las corrientes; a estos lo llamó tubo de Crookes. Cuando el tubo se encontraba cerca de algunas placas fotográficas se producía una imagen borrosa, sin embargo decidió no seguir investigando sobre esto.

En 1887, el científico Nikola Tesla estudió este efecto que fue creado por los tubos de Crookes. Por su investigación prosiguió a informar y advertir a toda la comunidad científica de los riesgos para los organismos expuestos a este tipo de radiaciones.

El físico Roentgen estaba analizando los rayos catódicos para evitar cierta fluorescencia que eran producidos en las paredes de vidrio en uno de los tubos, así que los cubre con una funda negra de cartón. Cuando llega la noche conecta todo su equipo por última vez y se sorprendió al momento de ver un resplandor amarillo-verdoso a lo lejos. Al apagar y volver a encender el tubo, este resplandor se producía de nuevo.

El primero de enero de 1896 Wilhelm Roentgen contactó con sus compañeros de toda Europa para comunicarles los detalles de su investigación. También les mandó una fotografía de una mano en la que la piel casi no se veía, dejando observar los huesos y lo que parecía ser la sombra de un anillo. Esto se debe a que el 22 de diciembre se decidió hacer la primera prueba con humanos pero ya que no podía manejar su carrete, la placa fotográfica de cristal y exponer su mano a los rayos x (todo esto a la vez) pidió ayuda a su esposa, para que ésta colocase su mano en la placa durante 15 minutos. Cuando fue revelada la placa de cristal su sorpresa fue muy grande, apareció una imagen, sin duda, muy importante para la historia de la ciencia; los huesos de la mano de su esposa Berta con el anillo flotando sobre uno de estos. De esta manera aparece la primera radiografía de la historia y con ella nace una nueva rama de la medicina, la radiología.