

**TEMA 1**  
**EL ÁTOMO**  
*Miguel Alcaraz Baños*

**Objetivos generales**

1. Describir las partes del átomo y enumerar los componentes más importantes.
2. Comparar las masas relativas aproximadas y la carga del electrón, protón y neutrón.
3. Enunciar que es el número atómico Z.
4. Explicar qué propiedades de un elemento vienen determinadas por Z.
5. Describir la distribución en capas de los electrones corticales.
6. Definir la energía de ligadura de los electrones corticales e interpretar sus valores discretos.
7. Explicar qué es un nivel energético.
8. Definir el electrón-voltio y enunciar sus múltiplos.
9. Exponer una idea global del espectro electromagnético.
10. Referir su velocidad de propagación y dar su valor en el vacío.
11. Exponer las características comunes de luz visible y rayos X como ondas electromagnéticas.
12. Establecer la relación entre energía, frecuencia y longitud de onda.
13. Definir el fotón.
14. Delimitar en el espectro de la radiación electromagnética, la luz visible y los rayos X.
15. Enunciar la ley inversa del cuadrado de la distancia.
16. Enunciar la ley del coseno.
17. Definir y explicar el fenómeno de la ionización.
18. Describir los niveles atómicos excitados y los procedimientos para excitar el átomo.

# TEMA 1

## EL ATOMO

Miguel Alcaraz Baños

### 1.1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento más antiguo registrado en relación con la estructura de la materia se remonta a los griegos, varios cientos de años antes de Jesucristo. Según los antiguos griegos, todas las sustancias conocidas estaban compuestas de cuatro elementos simples fundamentales (agua, aire, tierra y fuego), que modificadas por otras cuatro esencias básicas (húmedo/seco y frío/caliente) daban lugar a toda materia conocida mediante su combinación en diferentes proporciones. Emplearon el término **átomo**, que quiere decir indivisible, para describir la parte más pequeña de estos cuatro elementos de la materia. Esta descripción del átomo griego constituyó la base teórica que numerosos alquimistas medievales emplearon en vanos intentos de convertir el plomo en oro mediante la mezcla en proporciones adecuadas de esos elementos y esencias básicas.

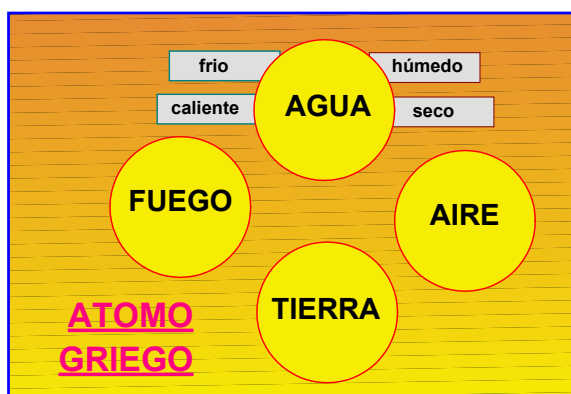


Fig. 1.1. Representación de los cuatro elementos de la materia según los antiguos griegos

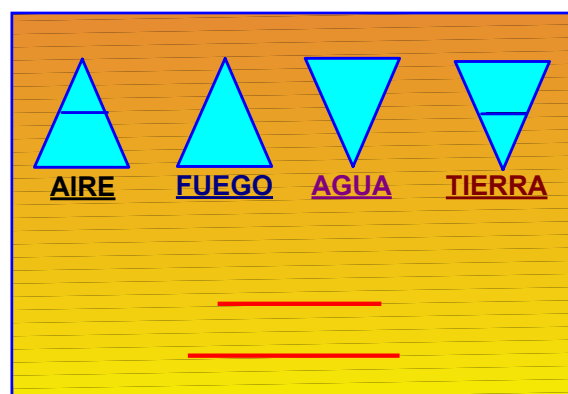


Fig. 1.2. Representación esquemática del átomo medieval

Hacia 1808, un maestro de escuela inglés, John Dalton, realizó unos sencillos experimentos por los que podía afirmar que los átomos tenían masa, y podían clasificarse de acuerdo a valores enteros de masa atómica. Para él, un elemento estaría compuesto de átomos idénticos que funcionaban de igual forma en las reacciones químicas; todos los átomos de un mismo elemento serían iguales, con el mismo aspecto, constituidos idénticos y que se diferenciarían de los átomos de los demás elementos por su masa. Las moléculas se formarían mediante uniones tipo gancho y presilla entre los diferentes átomos. Décadas después, siendo un simple estudiante ruso, Dimitri Mendeleiev comprobó que ordenando los elementos en orden creciente de masa atómica se produce una repetición periódica de las propiedades químicas construyendo por primera vez la tabla periódica de los elementos.

A finales del siglo XIX, estudiando las propiedades físicas de los rayos catódicos recientemente descubiertos, J.J. Thomson llegó a la conclusión de que además de la masa en los átomos debía existir un componente de naturaleza eléctrica. Llegó a la conclusión de que el átomo debía ser algo parecido a un pudín de ciruelas, en donde las ciruelas representaban las cargas eléctricas negativas (electrones) y el pudín esa masa amorfa y gelatinosa de carga positiva, que provocaba que el átomo, en su conjunto, se comportara como un elemento eléctricamente neutro, sin carga eléctrica.

Posteriormente, Ernest Rutherford con ingeniosos experimentos invalidó este modelo atómico científico hacia 1911 y postuló otro modelo diferente. Por fin, en 1913, Niels Bhor mejoró la descripción del átomo de Rutherford y postuló uno nuevo, copia en pequeño del elemento mayor conocido: el Sistema Solar. Por semejanza al sistema solar, en el átomo de Bhor existe un núcleo grande en donde se encuentra toda la masa del átomo y una serie de múltiples partículas que se

encuentran dando vueltas alrededor del núcleo en órbitas o capas perfectamente fijadas de las que no pueden salir por sí mismos.

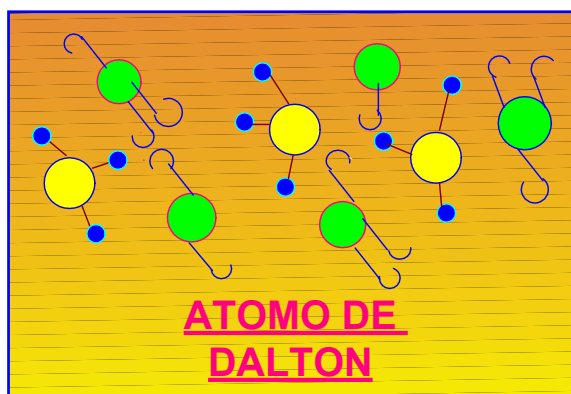


Fig. 1.3. Átomo de Dalton con gancho y presillas para permitir la combinación química .



Fig. 1.4. Átomo de Thomson representado como un pudín de ciruelas donde éstas serían los electrones y la gelatina la masa donde se encontraban éstos.



Fig. 1.5. Representación esquemática del átomo de Bhor copiando el sistema solar

Hoy día se ha aceptado científicamente otro modelo atómico diferente, denominado el **modelo cuántico**, que describe con mayor precisión los detalles de la estructura atómica. Sin embargo, todos los detalles y teorías aplicables a la Radiología, Radiodiagnóstico y a la Protección Radiológica se tienen estructurados para el modelo atómico de Bhor; por lo que es el que se continúa empleando para mantener la concepción global de los conceptos básicos en este campo. Por ello, es el que se empleará en la estructuración de esta materia.

## 1.2. ESTRUCTURA ATOMICA.

La materia se encuentra constituida por partículas indivisibles llamadas **átomos**, cuya definición es la de ser **la porción más pequeña de un elemento que puede participar en una reacción química**. Los átomos de distintos elementos químicos se combinan entre sí para formar las moléculas, la combinación de moléculas en una cantidad medible de un tipo se llama **compuesto químico**. La partícula más pequeña de un elemento es el átomo y la partícula más pequeña de una sustancia es la **molécula**. En la actualidad se conocen 105 elementos químicos de los cuales 88 se encuentran en la naturaleza y el resto ha sido generado artificialmente mediante reacciones nucleares. Cada elemento químico se simboliza mediante un código de una o dos letras, (Ca: calcio, W: Wolframio, I: iodo).

El átomo está compuesto de un núcleo y una zona periférica o corteza. Está constituido por una serie de **partículas fundamentales**: **electrón** (en la corteza), **protón** y **neutrón** (en el núcleo). Estas partículas interactúan entre sí de forma que producen una configuración estable. El núcleo central tiene  $10^{-14}$  metros de radio; casi toda la masa y toda la carga eléctrica positiva; la región periférica o corteza tiene  $10^{-10}$  metros de radio casi sin masa y con toda la carga eléctrica negativa, de forma que, en su conjunto, los átomos son eléctricamente **neutros**.

Partículas fundamentales	Carga	Masa
Protón	+	1
Electrón	-	0
Neutrón	0	1

Fig. 1.6. tabla representando las partículas fundamentales con su carga y masa

### 1.2.a) La corteza.

La corteza esta formada por una nube de electrones que giran alrededor del núcleo. La masa del electrón es  $9.11 \times 10^{-31}$  kg. = 0,000549 umas (unidad de masa atómica), si no se necesita mucha precisión, se utiliza un sistema de números enteros llamados **números de masa atómica**. El número de masa atómica de un electrón es 0 y es 1836 veces menor que la del protón o neutrón y presentan carga eléctrica negativa de  $-1,6 \cdot 10^{-19}C$ .

Bohr en su modelo atómico afirmó que los electrones corticales giran en una serie de órbitas permitidas llamadas capas o niveles definidos de energía de tal forma que cuando un electrón permanece en una órbita, no gana ni pierde energía, su estado energético variará sólo cuando pase a otra órbita de energía superior o inferior a la inicial.

Las órbitas electrónicas se designan con las letras **K, L, M, N, O, P y Q**, en el orden de menor a mayor distancia del núcleo. El número máximo de electrones que puede contener cada órbita viene dado por la relación  $2n^2$ , donde  $n$  es el número de orden de la capa llamado **número cuántico** principal. Según esto la capa K ( $n = 1$ ) puede tener 2 electrones; la L ( $n = 2$ ), 8 electrones; la M ( $n = 3$ ), 18 electrones, etc. Existe un límite en el número de electrones que puede haber en cada capa y el número de electrones que puede haber en la capa externa que no puede contener más de ocho electrones. Todos los átomos con un electrón en la capa externa pertenecen al grupo I, con dos electrones al grupo II y así sucesivamente hasta VIII.

La notación de la distribución de electrones en las diferentes capas del átomo no sólo identifica la distancia relativa del electrón al núcleo, sino que también indica la energía relativa que une el electrón al núcleo. A cada órbita le corresponde un determinado nivel energético Las órbitas más próximas al núcleo corresponden a los niveles más bajos de energía y son los ocupados preferentemente por los electrones. Sin embargo, cuanto más próximo al núcleo se encuentra una órbita mayor energía será necesaria para arrancar cualquier electrón de esa órbita. Se denomina **energía de enlace o energía de ligadura a la que es necesaria para arrancar un electrón de su órbita en el átomo**. Cuanto más complicado y grande es un átomo mayor es la energía de ligadura del electrón de un determinado nivel.

Como los electrones están situados en niveles discretos de energías, las energías necesarias para arrancarlos de la corteza serán discretas y tendrán valores característicos para cada elemento químico. Por ejemplo, la capa k del wolframio tiene una energía de ligadura de 69'4 keV, sólo se conseguirá arrancar un electrón de la capa k cuando se le aporte una energía a ese electrón de 60'4 keV o mayor.

### 1.2.b) El núcleo.

El núcleo está constituido por los protones y los neutrones llamados conjuntamente nucleones. El protón y neutrón tienen prácticamente la misma masa ( $1,67 \cdot 10^{-27}$  kg.). El protón presenta la misma carga que el electrón pero de signo contrario mientras que el neutrón no presenta carga. La estructura nuclear descrita presentaría repulsión electrostática muy intensa siendo el núcleo inestable. Esto no es así ya que entran en juego las llamadas **fuerzas nucleares**, de corto alcance pero de gran intensidad, que contrarrestan las fuerzas repulsoras electrostáticas de los protones. Actúan así al aproximarse dos nucleones a distancias de  $10^{-15}$  metros. Cuando las distancias de aproximación son del orden de  $10^{-17}$  metros se invierte la acción de las fuerzas volviéndose repulsivas y evitando que los nucleones se colapsen bajo la acción de las fuerzas nucleares.

### 1.3. NOMENCLATURA ATÓMICA.

Las propiedades químicas de un elemento vienen determinadas por el número de electrones y su posición en torno al núcleo. En un átomo estable o neutro, el número de electrones es igual al número de protones. Un núcleo atómico queda caracterizado por dos magnitudes: su **masa atómica** representada por la letra **A** y su **número atómico** representado con la letra **Z**. La masa atómica es la suma de las masas de los protones y neutrones del núcleo, ya que la masa de los electrones corticales, al considerarla insignificante, no interviene en la masa del átomo. El número atómico, es el número de orden correspondiente a cada elemento de la tabla periódica, que coincide con el número de protones que posee en su núcleo, y que por tanto coincide con el número de electrones en los átomos estables o neutros. Todos los átomos que tengan el mismo número atómico tienen las mismas propiedades químicas.

Se denomina **nucleido** a toda especie nuclear definida por las dos magnitudes anteriores y se representa por el símbolo químico del elemento correspondiente con el valor de su masa en la parte superior izquierda y su número atómico en la parte inferior izquierda. El número másico y el número atómico usualmente no se incluyen al venir implícitamente definido por el símbolo químico.

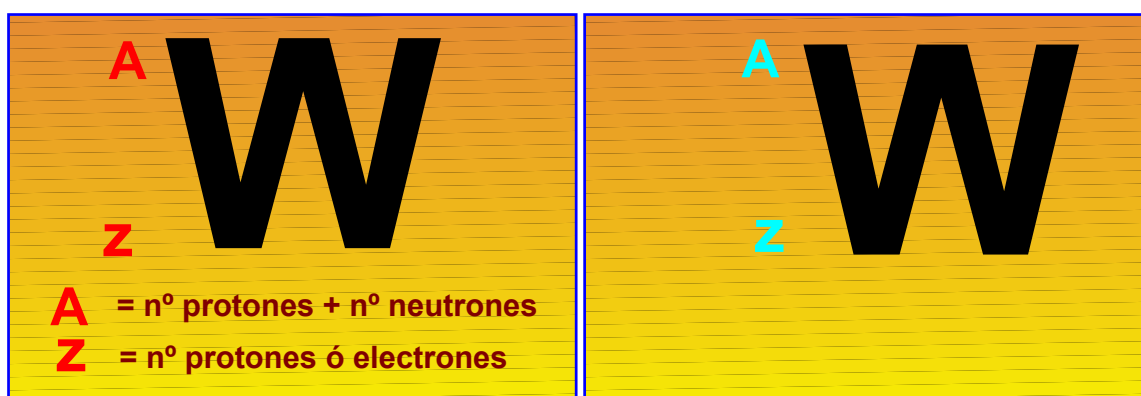
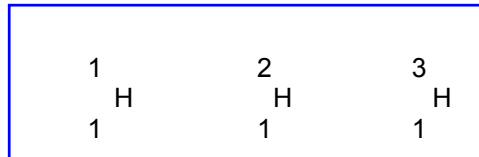


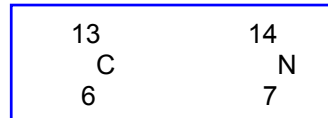
Fig. 1.7. Representación esquemática de un nucleido (Wolframio)

A continuación se definen una serie de términos habituales en base a las distintas combinaciones de Z y A al constituir los distintos radionucleidos.

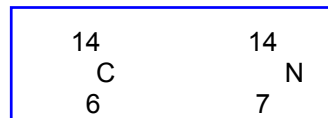
- **Isótopos**: Son nucleidos que tienen el mismo número atómico (Z) pero diferente número másico (A); es decir, el mismo número de protones pero distinto número de neutrones. Los isótopos para un mismo Z tienen las mismas propiedades químicas pero distintas propiedades físicas. Un ejemplo son los isótopos del Hidrógeno,



- **Isótonos:** Son nucleidos que tienen el mismo número de neutrones pero distinto número de protones. Un ejemplo de nucleidos isótonos es,



- **Isobaros:** Son nucleidos que tienen el mismo número másico A pero distinto número de protones y neutrones. Ejemplo,



- **Isómeros:** El núcleo puede encontrarse energéticamente en niveles excitados, que tienden a volver al estado fundamental con vida media muy corta ( $10^{-15}$  a  $10^{-13}$  seg.) emitiendo radiación gamma. Si esta vida media es más larga, incluso de años, se dice que el núcleo excitado es un isómero del mismo núcleo en su estado fundamental. Los isómeros se representan con una letra "m" tras el número másico, así el  $^{137m}\text{Ba}$  es un isómero del  $^{137}\text{Ba}$ , tienen el mismo número atómico y el mismo número de masa atómica, son átomos idénticos, pero tienen diferentes estados energéticos por diferencias en la disposición del núcleo.

#### 1.4. UNIDADES DE ENERGIA EN FISICA ATOMICA.

En los fenómenos que suceden en física atómica, la unidad de energía en el Sistema Internacional (SI), es el Julio, pero resulta desmesuradamente grande. Por ello, se emplea una unidad especial, el **electrón-voltio (eV)**. Se define el electrón-voltio como la energía cinética que posee un electrón, inicialmente en reposo, después de ser acelerado en el vacío por la diferencia de potencial de un voltio. Es una unidad pequeña, siendo su valor expresado en julios:

$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Julios}$
--

Es muy frecuente el uso de los múltiplos del electrónvoltio, en particular el kiloelectrónvoltio (keV) y el Megaelectrónvoltio (MeV).

$1 \text{ keV} = 1000 \text{ eV}$
$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$

#### 1.5. LA RADIACION ELECTROMAGNETICA.

La radiación electromagnética supone una propagación de energía a través del espacio, sin necesidad de un medio material y, por tanto, una transmisión de energía desde el sistema que la produce hasta el sistema que la recibe. La radiación electromagnética es un fenómeno de naturaleza ondulatoria. Puede considerársela como una doble vibración que comprende a un campo eléctrico y a un campo magnético.

Son ondas electromagnéticas las ondas de radio, los rayos infrarrojos, los ultravioleta, las ondas luminosas visibles, los rayos X y los rayos gamma. Se diferencian unas de otras en la **longitud de onda** ( $\lambda$ ) y en la **frecuencia** ( $\nu$ ) y como consecuencia de todo ello en la **energía** que transportan ( $E$ ).

La longitud de onda ( $\lambda$ ) representa la distancia más pequeña que separa a dos puntos que se encuentran en un mismo estado de oscilación en un instante dado. Puede variar desde kilómetros (ondas de radio) a amstrong (radiaciones ionizantes). La frecuencia ( $\nu$ ) de una onda electromagnética representa el número de oscilaciones o ciclos que efectúa el campo electromagnético en la unidad de tiempo.

La relación entre ambas es:

$$\lambda = c / \nu$$

donde c es la velocidad de la luz en el vacío ( $3 \cdot 10^8$  m/s)

Los parámetros frecuencia, longitud de onda y velocidad describen la radiación electromagnética. La interrelación entre los tres es importante pues el cambio de una afecta a las otras dos. Al cambiar la velocidad, varía la frecuencia proporcionalmente. La longitud de onda y la frecuencia son inversamente proporcionales para una misma velocidad. Y, todo ello implica la cantidad de energía que transporta dicha radiación electromagnética.

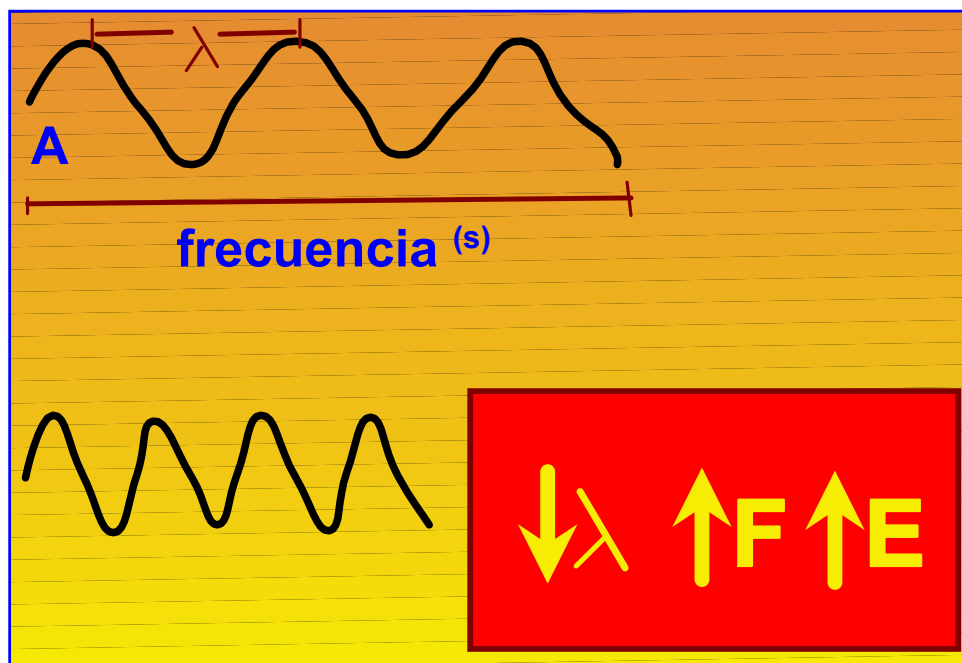


Fig. 1.8. Estas dos ondas se diferencian en la longitud de onda y en la frecuencia

**Dicho de otra manera:**

Cuanto menor es la longitud de onda, mayor es la frecuencia y por tanto mayor es la energía de esa radiación; resultando así, una radiación más penetrante y más peligrosa desde el punto de vista de los efectos biológicos lesivos que puede llegar a producir.

### 1.5.a) Espectro de radiación electromagnética.

El conjunto de todas las radiaciones electromagnéticas conocidas constituye un espectro continuo que se extiende desde las ondas radioeléctricas hasta la radiación gamma y que se pueden ordenar de mayor a menor frecuencia, o por su longitud de onda o por su energía. Esta clasificación del conjunto de todas las ondas electromagnéticas se conoce con el nombre de **Espectro de la Radiación Electromagnética**.

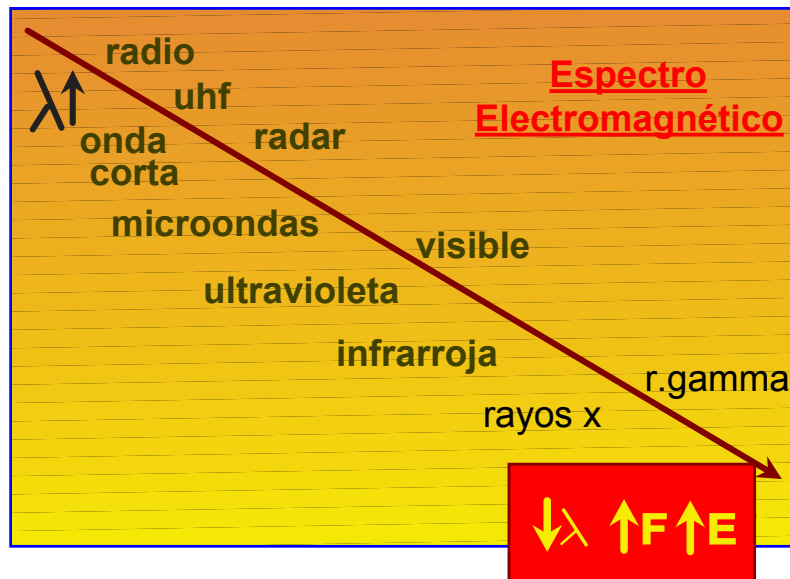


Fig. 1.9. El espectro electromagnético se extiende desde las ondas radioeléctricas hasta la radiación gamma

Las longitudes de onda se miden en km, m o cm para las ondas utilizadas en radiocomunicación. Se miden en décimas o centésimas de milímetro para los rayos infrarrojos; en diezmilésimas de milímetro para las ondas luminosas, y en unidades sucesivamente menores para los rayos UV, X y gamma. Las zonas de separación entre ellas suponen cierto margen de solapamiento, ya que su delimitación no es clara y nítida.

### 1.5.b) Leyes generales de las radiaciones electromagnéticas de interés en Protección Radiológica:

Todas las radiaciones electromagnéticas se caracterizan por un comportamiento común que ha dado lugar al enunciado de unas leyes generales que describen algunas características de las radiaciones. De interés en Protección Radiológica destacan dos:

- \* La Ley de la Inversa del Cuadrado de la Distancia.
- \* La Ley del Coseno.

#### 1.5.b.1) Ley de la Inversa del Cuadrado de la Distancia:

La dosis de una radiación ionizante sobre una superficie esta en razón inversa del cuadrado de la distancia entre el foco emisor y dicha superficie. Si la distancia entre el foco emisor y el receptor aumenta, la intensidad o dosis de radiación disminuye en proporción al cuadrado de la



distancia ( $1 / d^2$ ). Si la distancia aumenta de 1 a 2 m, la dosis de la radiación no disminuye, como podría pensarse a la mitad, sino que lo hace hasta la cuarta parte ( al 25% ). Y si se aumenta la distancia hasta 3 metros, la dosis de radiación no disminuye a un tercio, sino que por aplicación de esta ley sólo alcanzaría la novena parte de la que se recibía a 1 metro.

Por el contrario, si la distancia disminuye, la intensidad aumenta en proporción al cuadrado de la distancia: si la distancia se acorta a la mitad, la intensidad de la radiación no aumenta al doble como podría pensarse, sino que se multiplica por cuatro al aplicar esta ley ( 400% ).

A nivel práctico, en protección radiológica, este fenómeno constituye la forma de conseguir una menor exposición a la radiación ionizante de la forma más fácil, segura y económica posible: aumentar la distancia al foco emisor.

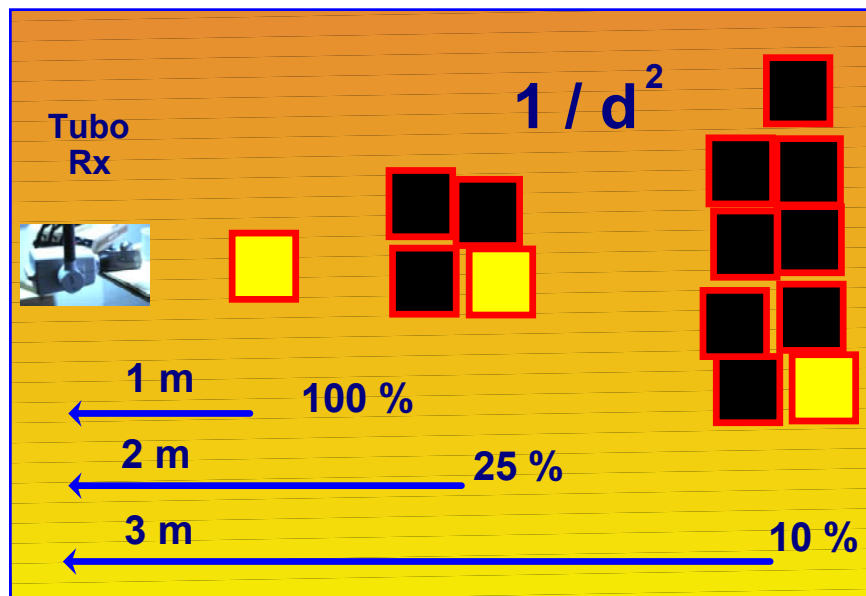


Fig. 1.10. La ley de la inversa del cuadrado de la distancia relaciona la intensidad de la radiación y la distancia desde la fuente de radiación.

### 1.5.b.2) Ley del Coseno

Si la distancia entre una fuente emisora de radiación y una superficie es fija, la intensidad de esa radiación en la superficie es máxima cuando la radiación incide perpendicularmente sobre dicha superficie. Desde un punto de vista práctico, puede interpretarse como que la intensidad de la radiación es máxima interpuesto dentro del haz primario de radiación, pero que irá progresivamente disminuyendo con la mayor angulación respecto del haz de radiación; siendo significativamente menor a una angulación de 90° respecto a la que se recibe en ángulos menores. Llevado a su último extremo, la zona a la que llegara menor intensidad de radiación, si se mantiene la distancia al foco emisor constante, estaría situado en el sentido opuesto al que lleva el haz primario de radiación.

## 1.6. EL FOTON

El carácter ondulatorio de la radiación electromagnética explica los fenómenos físicos de la propagación de las ondas, pero resulta insuficiente para explicar otros fenómenos tales como la interacción y la absorción con la materia. Estos fenómenos pueden ser correctamente interpretados al admitirse que las ondas electromagnéticas están también constituidas por **fotones o cuantos de energía pura que no tienen masa**, pero pueden comportarse como corpúsculos de energía que recorre el espacio a la velocidad de la luz. La representación de la radiación electromagnética como

onda o como corpúsculo constituye dos aspectos complementarios de una misma realidad, que se manifiesta de distinta forma según el tipo de fenómeno que se pretenda estudiar.

Así pues, se admite que las ondas electromagnéticas están constituidas por pequeñísimos paquetes de energía pura, los fotones. Cada fotón puede ser considerado como una partícula o paquete de energía sin carga y de masa nula. La intensidad de una emisión de radiación electromagnética es función del número de fotones que contenga, en cambio, su energía es función directa de la frecuencia de la radiación:

$$(E = h \cdot \nu)$$

donde E es la energía del fotón en eV, h es la constante de Planck en eV-s y  $\nu$  es la frecuencia del fotón en hercios.

Ello nos permite interpretar la radiación electromagnética también desde el punto de vista corpuscular. Los fotones de luz visible tienen una energía de unos pocos eV, notablemente mayor que los de luz infrarroja, menor que los de luz ultravioleta y muchísimo menor que los rayos X o los rayos gamma.

## 1.7. EXCITACION E IONIZACION

En el estado fundamental o de mínima energía de un átomo, los electrones ocupan los niveles de energía más bajos, esto es, las capas más internas. Cuando el átomo reciba un aporte de energía, podrá pasar a un estado excitado en el que uno o varios electrones habrán pasado a ocupar niveles energéticos superiores, es decir, esos electrones habrán saltado, o habrán sido arrancados, a capas más externas.

Hay dos mecanismos fundamentales que pueden excitar a un átomo. El primero consiste en hacerlo colisionar con otro átomo o partícula, de modo que parte de la energía cinética de las partículas colisionantes sea absorbida por el átomo. El otro mecanismo de excitación es aquel en el que el átomo absorbe un fotón, cuya energía ( $E = h \cdot \nu$ ) es exactamente la que necesita uno de sus electrones para saltar a un nivel energético más elevado.

Los átomos excitados, desplazados a capas más externas, tienden a desexcitarse inmediatamente al volver los electrones desplazados a sus órbitas normales liberando el exceso de energía mediante un fotón de radiación electromagnética. Dicho fotón tendrá una energía igual a la diferencia de energías de los dos niveles u órbitas entre los que se efectuó el salto. Así pues se comprende por qué en la radiación electromagnética emitida por los átomos solo están presentes ciertas longitudes de onda o frecuencias características, correspondientes a las distintas posibilidades de transiciones radiativas entre los diversos niveles energéticos característicos de cada especie atómica. Estas longitudes de onda constituyen el espectro de emisión característico de cada elemento.

Cuando a un electrón orbital a través de partículas incidentes o fotones se le suministra una energía y esta es suficientemente elevada, la colisión puede ocasionar su separación **completa** del átomo, con lo que dará lugar a la formación de un par de iones: uno, negativo, será el formado por la carga eléctrica del electrón libre; otro, positivo, formado por el resto del átomo que ha perdido ese electrón. Siendo antes eléctricamente neutro, ahora está cargado con una carga eléctrica positiva al haber perdido ese electrón: tiene un protón más en el núcleo que electrones en la corteza. Se han formado dos partículas cargadas eléctricamente de signo diferente o iones, denominándose **ionización** a este fenómeno de producción de pares de iones.

Este fenómeno es tan importante que le da el apellido a este tipo de radiaciones: radiaciones ionizantes. Este fenómeno de ionización servirá de base para detectar y cuantificar las radiaciones ionizantes, explicará el efecto lesivo de las mismas y resultan fundamentales para comprender el empleo médico de las mismas.

De entrada, deben separarse claramente dos situaciones diferentes:

- Las radiaciones ionizantes que se producen por el cambio, modificación o interacción de los electrones corticales y que van a dar lugar a los rayos X constituyendo la base de estudio de esta materia.
- Las radiaciones ionizantes producidas por átomos cuyos núcleos inestables emiten diferentes partículas ionizantes, que quedan fuera del área de interés propuesta, aún cuando sean fundamentales para otros campos como la Medicina Nuclear o la Radioterapia

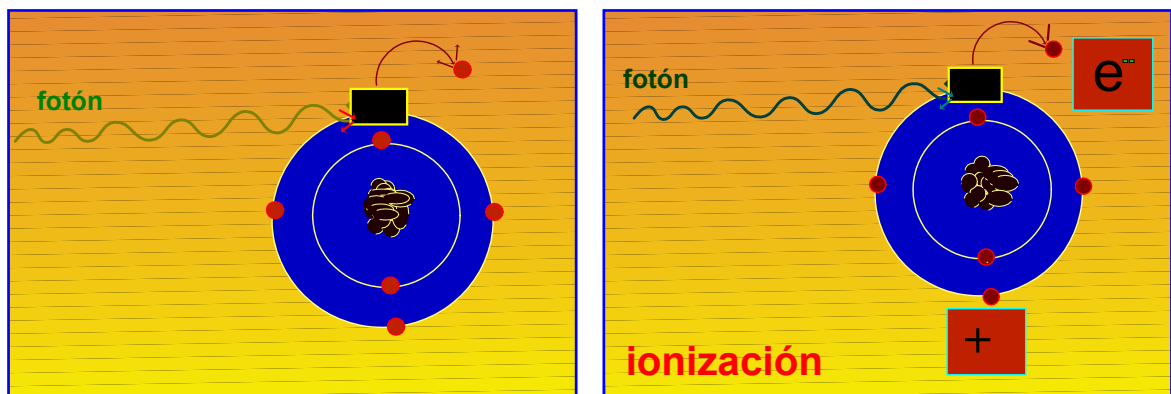


Fig. 1.11. Representación esquemática del proceso de ionización

## BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADO

BUSHONG, S. (1993).- Manual de radiología para técnicos. Física, Biología y Protección Radiológica (5ªed.). Mosby, Madrid (pp.34-47; 56-72)

ZARAGOZA, J.R. (1992).- *Física e instrumentación médicas* ( 2ª ed.). Masson – Salvat Medicina, Barcelona ( pp. 263-276 )