

TEMA 1
EL ÁTOMO
Miguel Alcaraz Baños

Objetivos generales

1. Describir las partes del átomo y enumerar los componentes más importantes.
2. Enunciar que es el número atómico Z .
3. Explicar qué propiedades de un elemento vienen determinadas por Z .
4. Describir la distribución en capas de los electrones corticales.
5. Definir la energía de ligadura de los electrones corticales e interpretar sus valores discretos.
6. Definir el electrón-voltio y enunciar sus múltiplos.
7. Exponer una idea global del espectro electromagnético.
8. Exponer las características comunes de luz visible y rayos X como ondas electromagnéticas.
9. Establecer la relación entre energía, frecuencia y longitud de onda.
10. Definir el fotón.
11. Enunciar la ley inversa del cuadrado de la distancia.
12. Enunciar la ley del coseno.
13. Definir y explicar el fenómeno de la ionización.

TEMA 1

EL ATOMO

Miguel Alcaraz Baños

En 1913, Niels Bhor mejoró la descripción del átomo de Rutherford y postuló un modelo atómico nuevo, para lo que realizó una copia en pequeño del elemento mayor conocido en ese momento: 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 perfectamente fijadas y de las que no pueden salir por sí mismos.

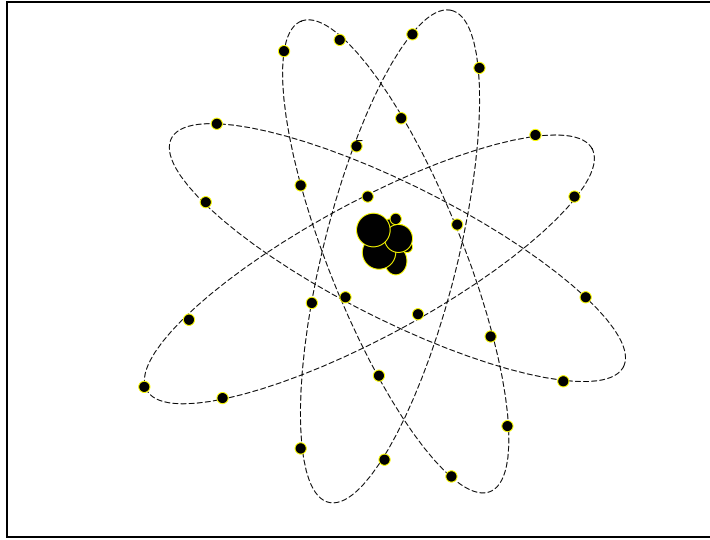


Fig. 1.1. Representación esquemática del átomo de Bhor copiando el sistema solar

Hoy día, científicamente se ha aceptado otro modelo atómico diferente denominado el **modelo cuántico** de Planck, que describe con mayor precisión los detalles de la estructura atómica. Sin embargo, todas teorías aplicables a la Radiología, Radiodiagnóstico y a la Protección Radiológica se tienen estructurados para el modelo atómico de Bhor y no coinciden exactamente con el modelo cuántico moderno. Por ello, se continúa empleando el modelo antiguo de Bhor para mantener la concepción global de los conceptos básicos en este campo. Este es el que se empleará en la estructuración de esta materia.

1.1. 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**. En la actualidad se conocen 105 elementos químicos de los cuales 88 se encuentran en la naturaleza y el resto ha sido generados artificialmente mediante reacciones nucleares. Cada elemento químico se simboliza mediante un código de una o dos letras.

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. En su conjunto, los átomos son eléctricamente **neutros**.

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

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

a) La corteza.

La corteza esta formada por una nube de electrones que giran alrededor del núcleo. La masa del electrón es 9.11×10^{-31} kg., 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, presentando 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 cambie a otra órbita.

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.

A cada órbita le corresponde un determinado nivel energético Las órbitas más próximas al núcleo corresponden a los niveles en donde los electrones tienen un nivel más bajo de energía. Estas capas internas son las ocupadas 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.

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**

1.2. NOMENCLATURA ATÓMICA.

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 (**A**) 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 (**Z**), es 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. Es el parámetro más importante a tener en cuenta en Radiodiagnóstico.

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.

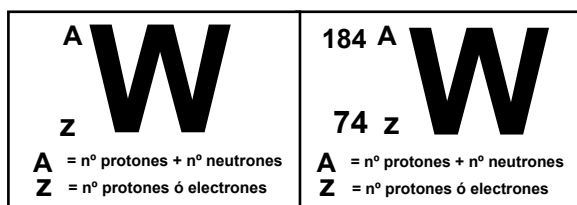


Fig. 1.3. Representación esquemática de un nucleido (Wolframio)

1.3. 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).

$$\begin{aligned} 1 \text{ keV} &= 1000 \text{ eV} \\ 1 \text{ MeV} &= 10^6 \text{ eV} \end{aligned}$$

Parece descrito para su utilización en Radiodiagnóstico, ya veremos que será una unidad equivalente al kilovoltio (kV) que utilizaremos ampliamente en la obtención de la imagen radiológica.

1.4. LOS RAYOS X

Para comprender los rayos X, sus propiedades y sus características, tendremos que considerarlos unas veces como ondas (se reflejan y se refractan), otras veces como corpúsculos (interaccionan y chocan...). Por ello habrá que tener en cuenta esta doble naturaleza para comprender como actúan los rayos X, con dos teorías diferentes:

- Teoría Ondulatoria (parte del espectro electromagnético)
- Teoría Corpuscular (como fotones).

1.4.1. 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** (λ) y en **la frecuencia** (ν) y como consecuencia de todo ello en **la energía** que transportan (E).

La longitud de onda (λ) 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 (ν) de una onda electromagnética representa el número de oscilaciones o ciclos que efectúa el campo electromagnético en la unidad de tiempo.

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.

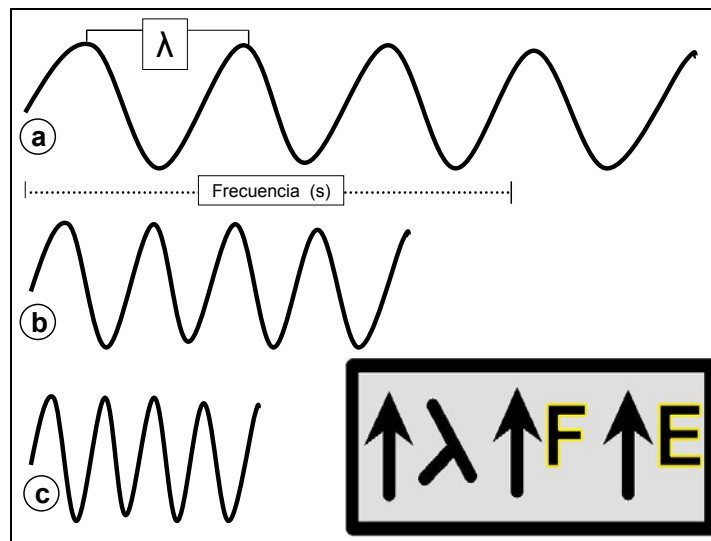


Fig. 1.4. Estas dos ondas se diferencia en la longitud de onda, en la frecuencia y por tanto, en la energía que transportan.

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.

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**.

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.

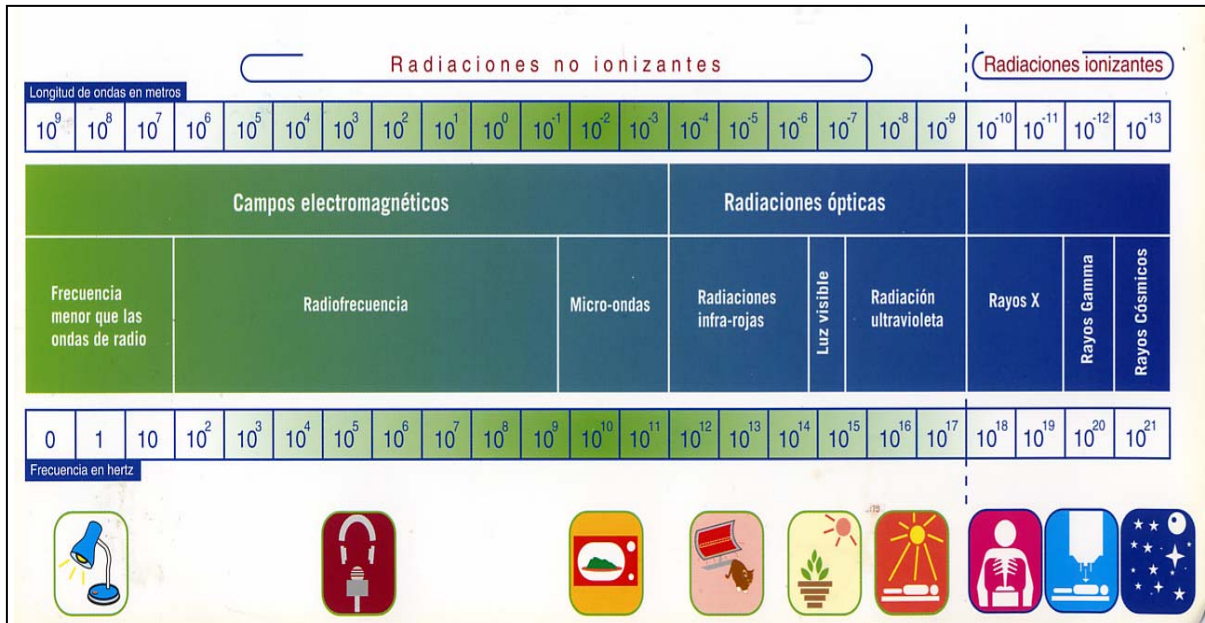


Fig. 1.5. El espectro electromagnético se extiende desde las ondas radioeléctricas hasta la radiación gamma

1.4.1.1. 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.

1ª) 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.

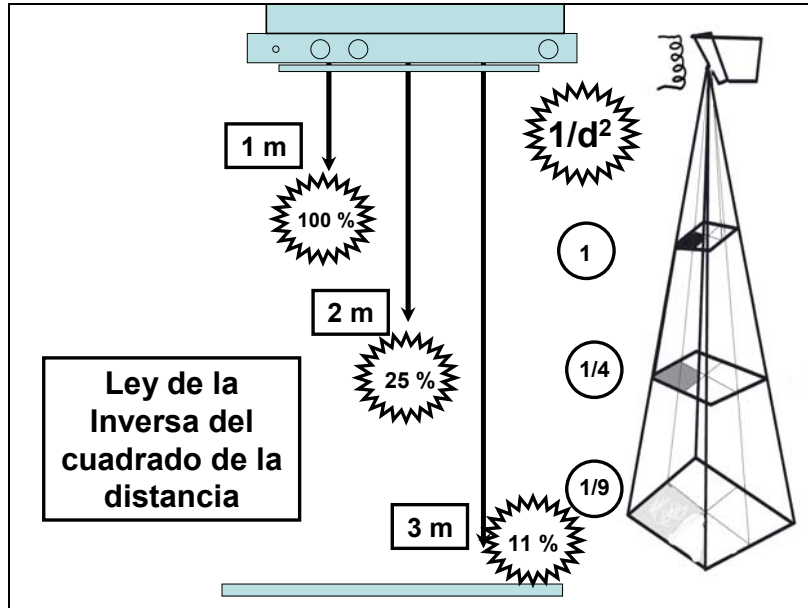


Fig. 1.6. La ley de la inversa del cuadrado de la distancia relaciona la intensidad de la radiación y la distancia desde la fuente de radiación.

2ª) 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.

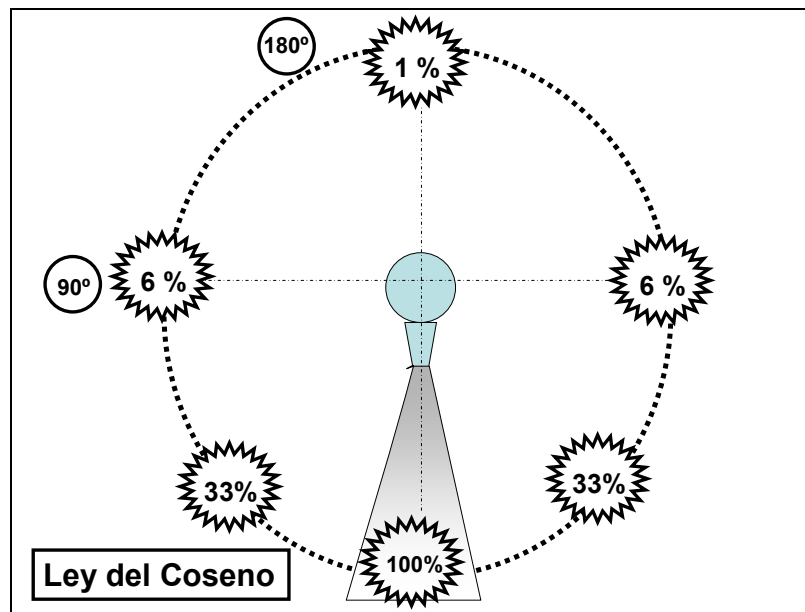


Fig. 1.7. La ley del Coseno: disminución de la cantidad de radiación respecto al ángulo del haz primario de radiación..

1.4.2. EL FOTÓN

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

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.

a). EXCITACIÓN

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.

Los átomos excitados, que permanecen en su órbita o que pueden ser 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.

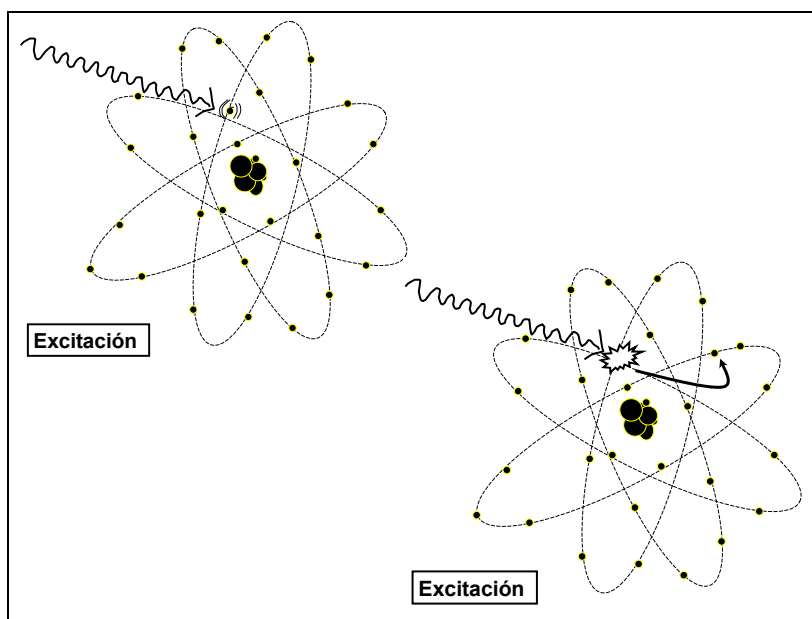


Fig. 1.8. Excitación: un fotón de rayos X incide sobre un electrón cortical y lo excita, sin arrancarlo completamente de su átomo.

b). IONIZACIÓN

Cuando a un electrón orbital a través fotones incidentes 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.

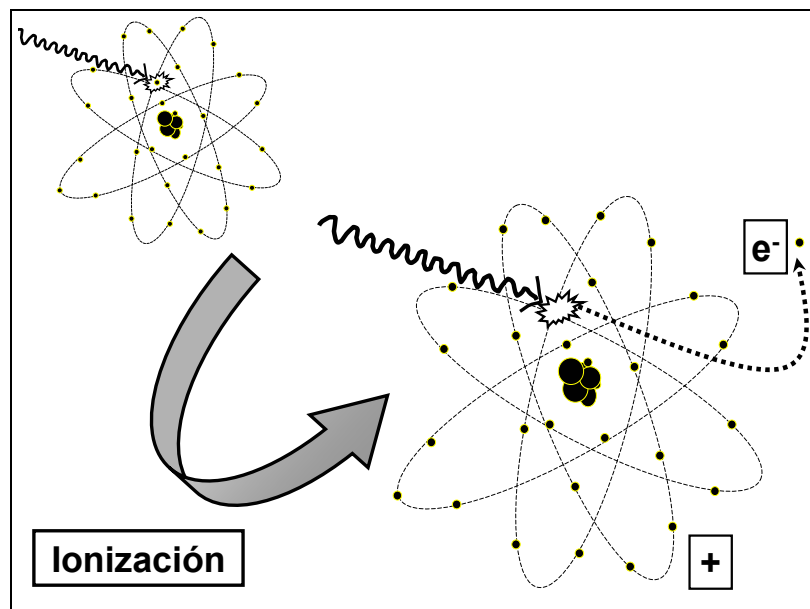


Fig. 1.9. Ionización: un fotón de rayos X incide sobre un electrón cortical y lo arranca completamente de su átomo.

De entrada, deben separarse claramente dos situaciones diferentes:

- Las radiaciones ionizantes que se producen por el cambio, modificación o interacción en los electrones corticales, 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, quedan fuera del área de interés del radiodiagnóstico, aún cuando sean fundamentales para otros campos como la Medicina Nuclear o la Radioterapia

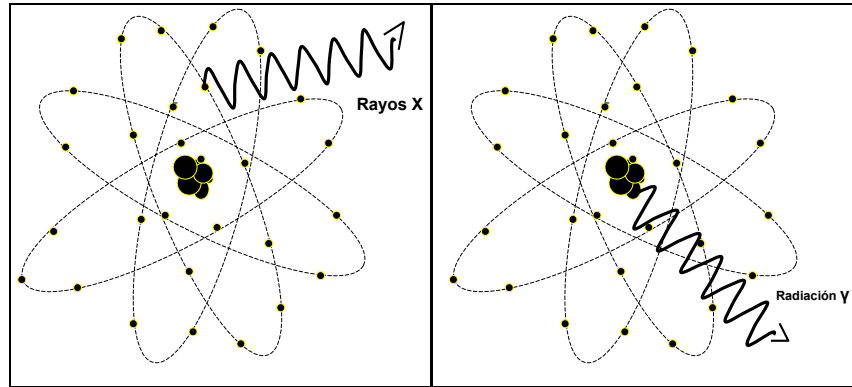


Fig. 1.10. Radiación ionizante: a) el juego de los electrones corticales, los rayos X; b) los núcleos atómicos inestables: radiactividad.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADO

BUSHONG, S. (1998).- Manual de radiología para técnicos. Física, Biología y Protección Radiológica (6ªed.). Mosby, Madrid (pp.28-53)