

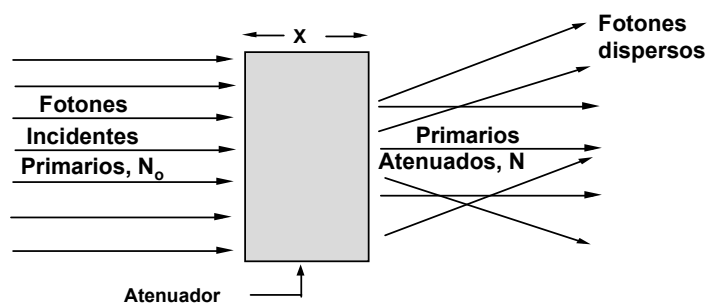
2- Interacción de la radiación ionizante con la materia

Cuando la radiación incide sobre un material se producen una serie de fenómenos que dependen de tipo de radiación (fotones, electrones, neutrones, ...) de la energía con la que incide, del tipo de material y de su estado (densidad, estado físico, ...).

Si la energía de la radiación incidente es suficientemente elevada producirá ionización en el material, es decir, arrancará electrones a los átomos, que a su vez podrán seguir ionizando. Se habla así de radiación primaria (incidente) y secundaria (electrones arrancados). Gran parte de los efectos de la radiación ionizante (ionización, excitación, disociación de moléculas, ...) se deben a la radiación secundaria.

2.1- Interacción de los fotones con la materia

Los fotones al atravesar la materia interaccionan tanto con los electrones como con los núcleos atómicos de manera que se va atenuando exponencialmente su número (intensidad de la radiación) conforme aumenta el espesor atravesado, pero sin llegar nunca a anularse. La atenuación por unidad de espesor depende de la energía de los fotones y del tipo de material (peso atómico, densidad electrónica, densidad).



2.1.1- Capa hemirreductora y decimorreductora

Para determinar el poder de penetración de un haz de fotones se utiliza el concepto de capa hemirreductora, que se define como el espesor de material necesario para reducir la intensidad de la radiación incidente a la mitad. Por tanto para un haz de fotones de una energía determinada la capa hemirreductora depende del material considerado. Por ejemplo, para los fotones de 1.25 MeV del Co^{60} la capa hemirreductora en hormigón es 6.6 cm y en plomo 1.24 cm.

De la misma forma se define el espesor decimorreductor o capa decimorreductora como el espesor de material que reduce a un décimo la intensidad de la radiación incidente.

Atenuación exponencial

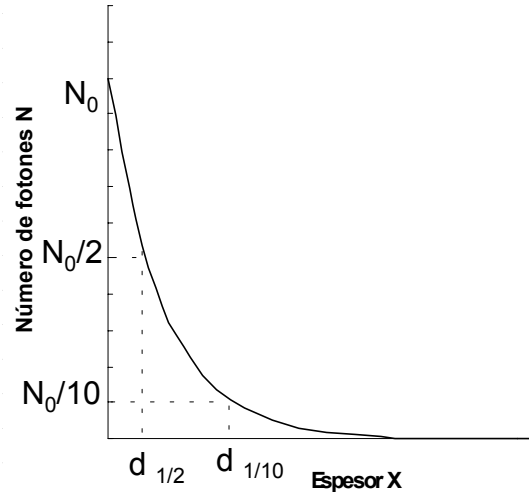
$$\Delta N = - \mu N \Delta x$$

$$N = N_0 e^{-\mu x}$$

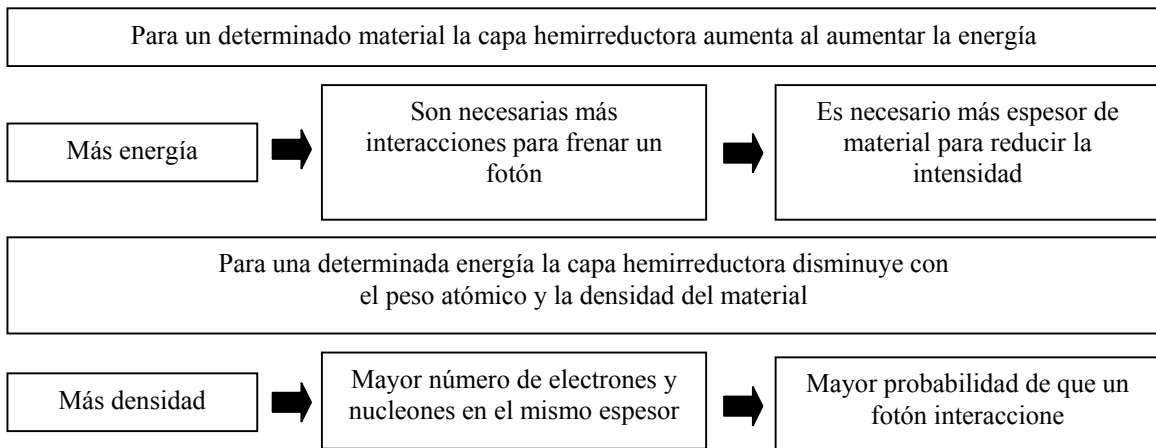
μ = coeficiente de atenuación lineal (m^{-1})

$d_{1/2}$ = espesor de semirreducción (m)

$d_{1/10}$ = espesor decimorreductor (m)



En general:

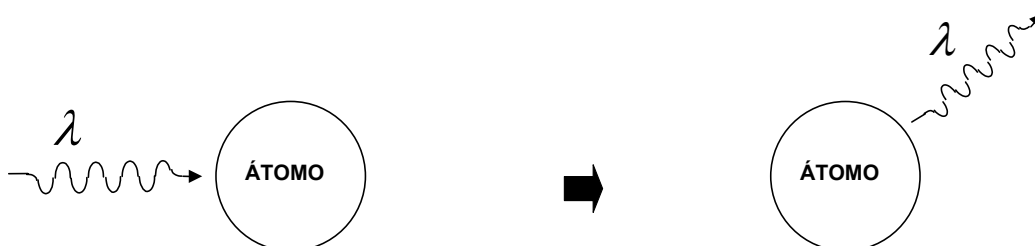


2.1.2- Tipos de interacciones

Dependiendo del tipo de material y de la energía de los fotones incidentes tenderán a producirse unos procesos u otros. Para la radiación ionizante ($E > 10 \text{ KeV}$) estos procesos son básicamente:

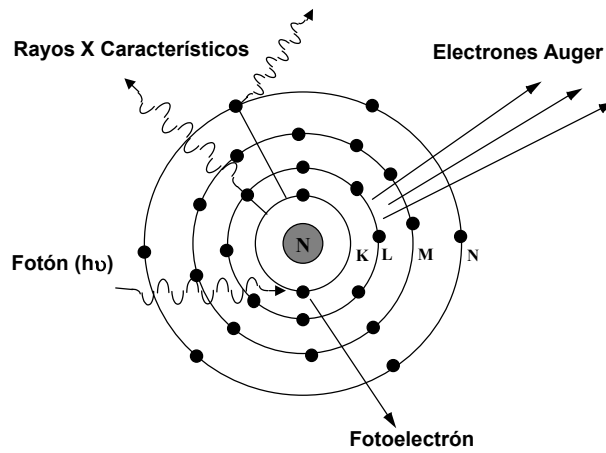
Dispersión coherente o Thomson

El fotón sólo se dispersa, no hay ionización ni excitación. Es importante a baja energía.



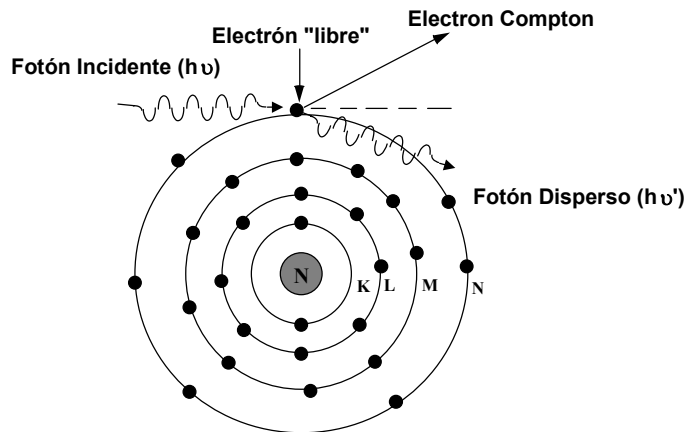
Efecto fotoeléctrico

El fotón es absorbido completamente, transmitiendo toda su energía cinética al material. No hay radiación dispersa. Alto contraste en la imagen radiológica.



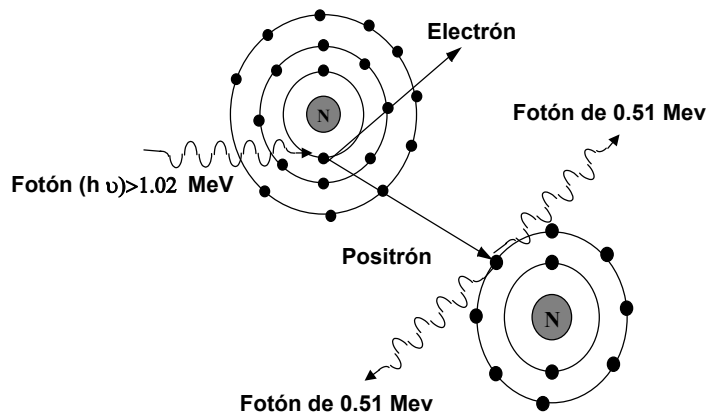
Dispersión Compton

El fotón se dispersa pero cede parte de su energía. Deterioro del contraste radiológico (ruido de fondo). Radiación dispersa.



Producción de pares

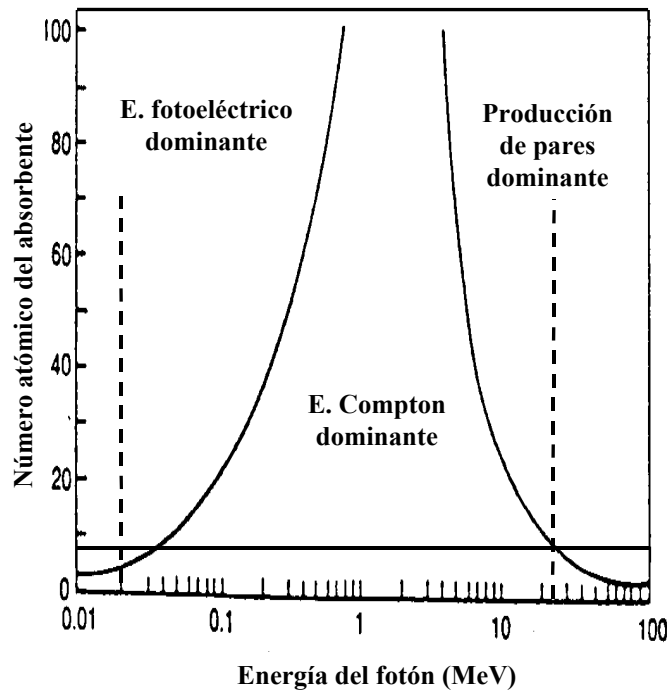
El fotón desaparece, cediendo toda su energía. Se producen dos fotones secundarios. Se produce sólo a alta energía (> 1.02 MeV en agua).



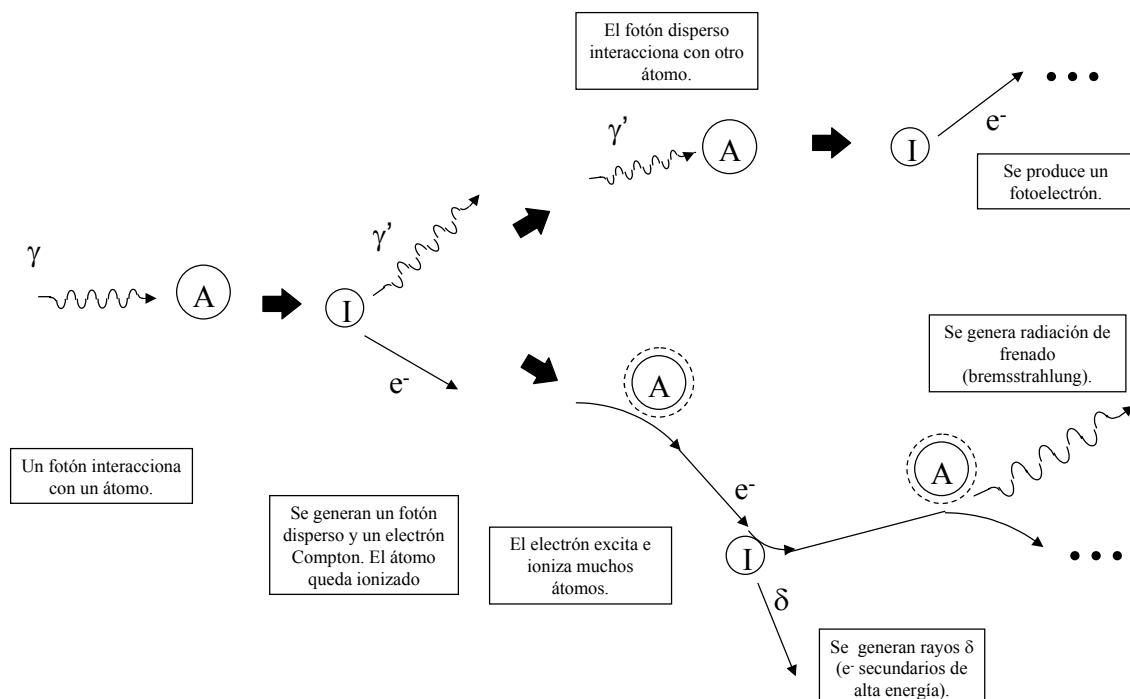
Reacciones nucleares

Los fotones con energía superior a 10 MeV pueden inducir reacciones nucleares en la materia. A efectos prácticos esto significa que cuando se trabaja con esas energías habrá que considerar el efecto de los neutrones secundarios originados en dichas reacciones.

En la siguiente gráfica se muestran las zonas donde es más probable que se produzca uno u otro proceso en función del tipo de material y de la energía de los fotones incidentes. La línea continua indica el agua, y las discontinuas el rango energético típico en radioterapia.



Imaginemos un ejemplo de proceso de interacción de un fotón.



2.2- Interacción de las partículas cargadas con la materia

Las partículas cargadas, en particular los electrones, interactúan de una forma mucho más intensa con la materia que los fotones debido a su masa y a su carga eléctrica (interacciones coulombianas con los electrones y los núcleos del material).

Cuando los electrones inciden contra un medio material pierden progresivamente su energía cinética a lo largo de la trayectoria debido a las sucesivas interacciones que van sufriendo con las partículas cargadas del medio (electrones y núcleos).

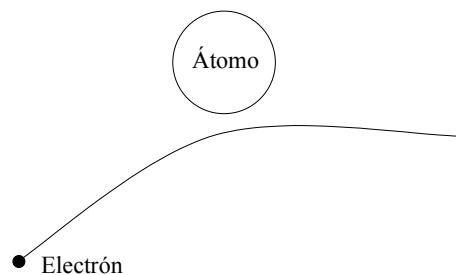
2.2.1- Tipos de interacciones

La interacción de un electrón en el medio material se denomina colisión y supone una transferencia de energía a la materia. Este es el origen último de todos los efectos producidos por las radiaciones ionizantes sobre la materia.

Las colisiones se clasifican en elásticas, inelásticas y radiativas.

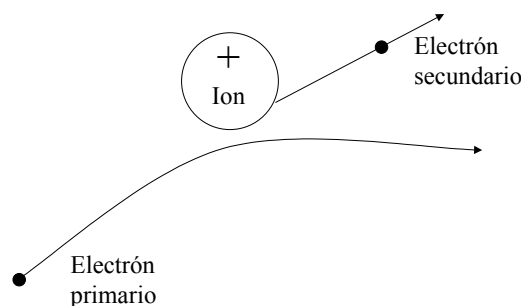
Colisión elástica

Sólo se produce una desviación de la trayectoria del electrón incidente y una pequeña cesión de energía.



Colisión inelástica

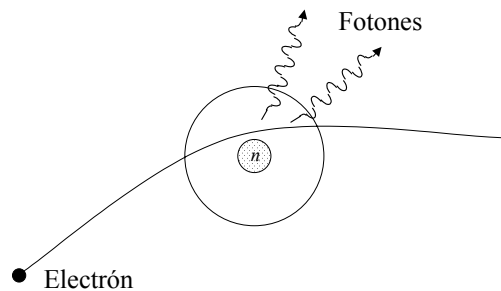
El electrón invierte parte de su energía en arrancar un electrón de la corteza atómica (ionizar) y cederle parte o toda su energía cinética. Puede ocurrir que el electrón incidente no ceda suficiente energía para provocar ionización pero sí para excitar el átomo. Posteriormente el átomo se desexcitará. Tanto el electrón primario como el secundario podrán seguir ionizando y excitando otros átomos.



Colisión radiativa

Si el electrón incidente pasa lo suficientemente cerca de otro electrón de la corteza o del núcleo del átomo sufrirá una gran pérdida de energía cinética que se emite en forma de radiación electromagnética (fotones) que se denomina radiación de frenado. Como el electrón incidente podrá tener diferente energía cinética, ya que podrá venir de otras

colisiones, y además la energía que pierda en esta colisión dependerá de la distancia a la que pase del núcleo, los fotones emitidos tendrán diferentes energías.

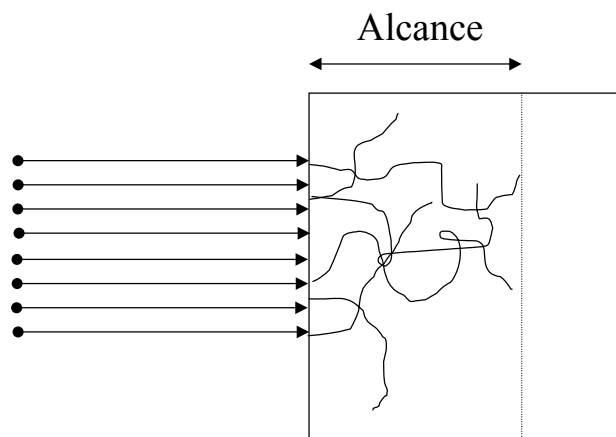


Este fenómeno es la base física de la producción de rayos X donde se hace incidir un haz de electrones sobre un material de alto número atómico.

2.2.2- Alcance

La energía cinética de una partícula cargada que incide contra un medio material va disminuyendo progresivamente debido a las sucesivas interacciones que va sufriendo, hasta que prácticamente se anula y la partícula es absorbida. La trayectoria muy probablemente no será rectilínea. Cuando se considera un haz de electrones se puede definir el alcance como la profundidad máxima (en línea recta) que alcanzan. Existen otras definiciones como alcance terapéutico y alcance efectivo.

El alcance depende de la energía de los electrones incidentes y del tipo de material. Se define la transferencia lineal de energía (LET) como la cantidad de energía cinética que pierde la partícula cargada por unidad de longitud.



2.3- Interacción de los neutrones con la materia

Los neutrones tienen masa muy superior a los electrones (~ 2000 veces) pero no están cargados, debido a esto recorren largas distancias antes de ser absorbidos (tienen un gran poder de penetración) al igual que los fotones. Además interactúan fuertemente con los componentes del núcleo (protones y neutrones), lo que hace que la mayor parte de las sustancias irradiadas con neutrones se vuelvan radiactivas, sobre todo si los neutrones son de baja energía (térmicos).

El efecto de los neutrones sobre la materia viva es muy importante, produciendo incluso más de 20 veces el daño que producen los fotones de la misma energía.

El blindaje contra los neutrones tiene varias fases. Primero se tiene que disminuir su energía cinética mediante colisiones elásticas con átomos de hidrógeno (masa similar al neutrón). Los neutrones de baja energía deben hacerse reaccionar con átomos adecuados. Por último, la radiación resultante de las reacciones nucleares y de la radiactividad inducida (α , β y γ) debe frenarse utilizando materiales pesados. Por ejemplo, la puerta del recinto de un acelerador de electrones de alta energía contiene parafina (material hidrogenado) para los neutrones y plomo para los fotones. En las paredes el espesor de hormigón necesario para blindar los fotones es suficiente para frenar los neutrones.