



II CURSO TALLER DE CAPACITACIÓN PARA
OFICIALES DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA

MÓDULO I:
INTRODUCCIÓN A LAS RADIACIONES

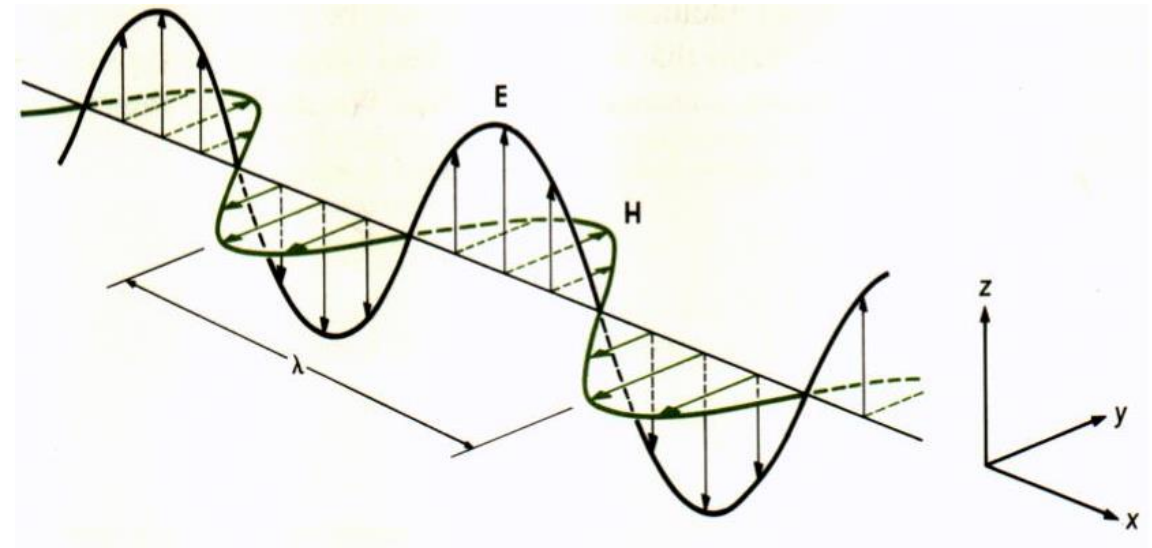
TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN
2. ESTRUCTURA ATÓMICA Y NUCLEAR
3. **INTERACCIONES DE FOTONES**
4. INTERACCIONES DE ELECTRONES

INTERACCIONES DE FOTONES

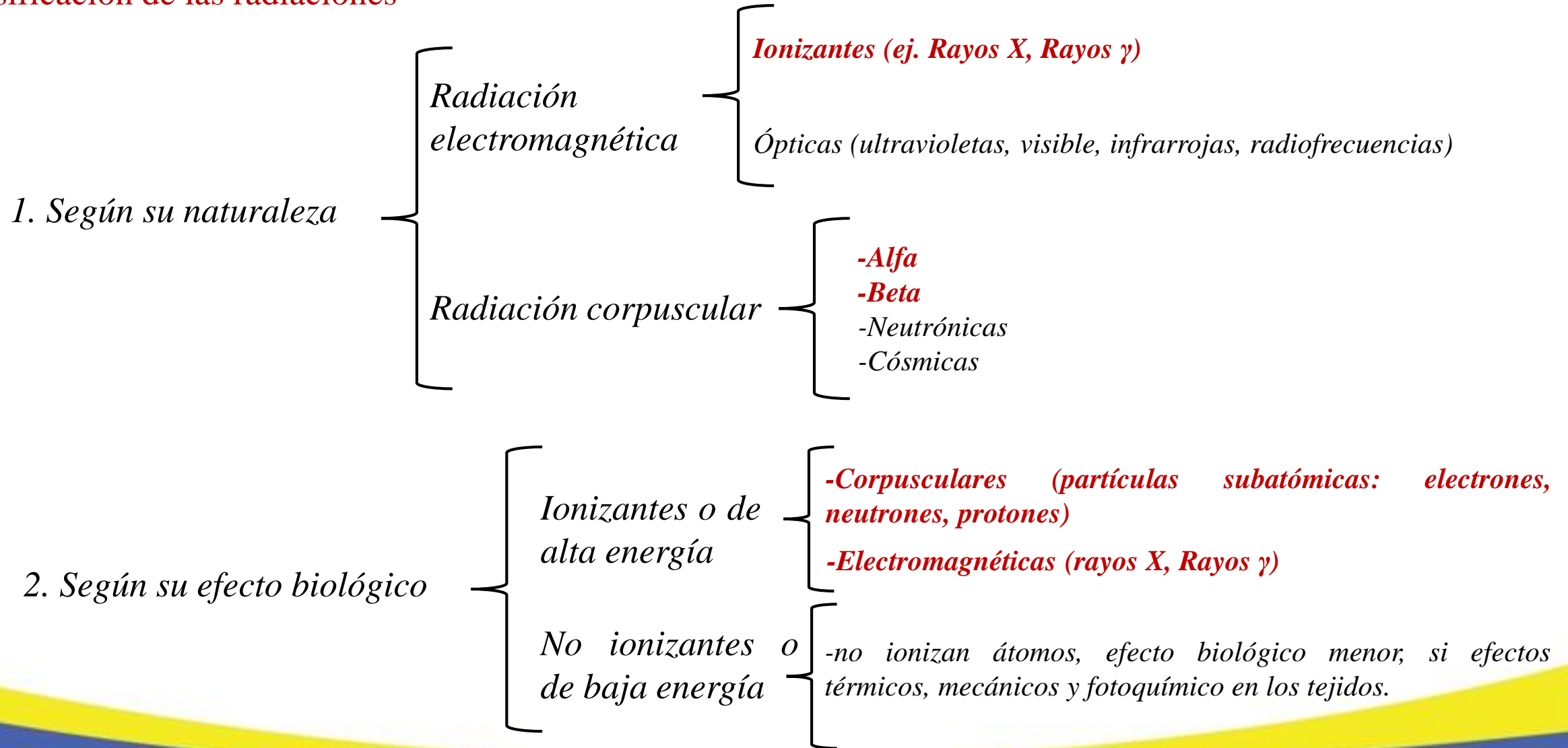
3.1. Introducción

- Se puede definir a la **radiación** como la emisión y propagación de energía, a través del vacío o de un medio material, en forma de onda electromagnética (R_x, R_γ, \dots), o bien en forma de partícula ($\alpha, \beta, n, p, \dots$).
- Las radiaciones tienen una doble naturaleza, **ondulatoria** y **corpúscular** simultáneamente (dualidad onda-partícula), de tal forma que:
 - **Radiaciones Electromagnéticas**: no poseen ninguna masa, solo energía. Ej. R_x .
 - **Radiaciones Corpúsculares**: son formas de energía que se propagan asociadas a su masa. Ej. e^-



INTERACCIONES DE FOTONES

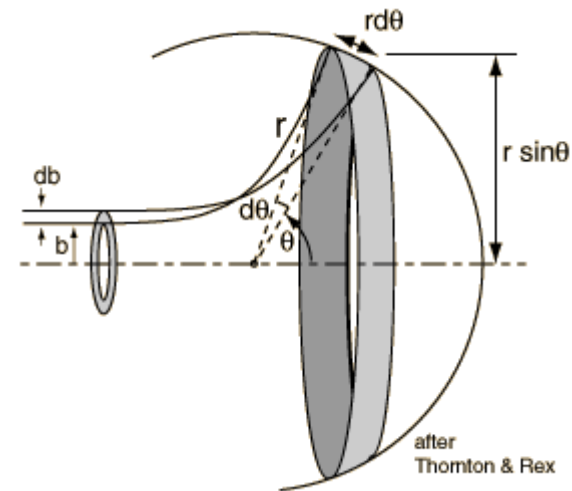
3.2. Clasificación de las radiaciones



INTERACCIONES DE FOTONES

3.3. Interacción de la radiación con la materia

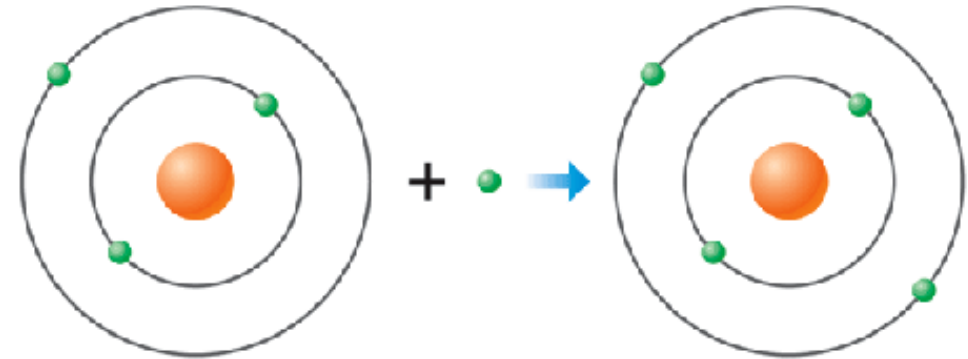
- La interacción de la radiación con la materia involucra la transferencia de energía a un medio.
- La energía transferida causará excitación e ionización en el átomo.
- La probabilidad que una interacción ocurra, cuando una partícula o un fotón pase cerca de las partículas del material blanco, se describe por la sección eficaz:
- La sección eficaz es un área imaginaria con sección transversal, dada por una longitud o un campo de interacción de una partícula cargada, creada por una partícula del material blanco, con la cual la radiación incidente tiene probabilidad de interactuar.



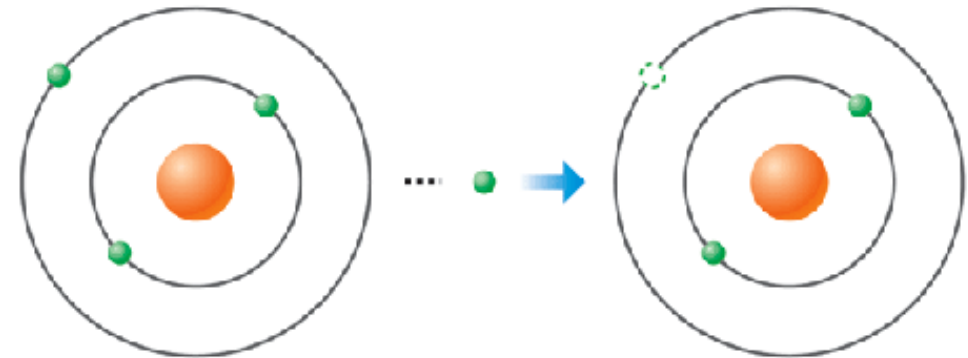
INTERACCIONES DE FOTONES

3.4. Ionización

- Es un procedimiento a través del cual se generan iones (un átomo o una molécula que dispone de carga eléctrica a partir de ganar o de perder una cierta cantidad de electrones).
- Si un átomo recibe un aporte energético suficiente es posible separar de él uno o varios electrones, quedando entonces el átomo eléctricamente descompensado, obteniéndose un ***ión positivo***
- Si en el fenómeno existe un aporte de electrones al átomo se originaría su ionización negativa y se transformaría en un ***ión negativo***



Átomo neutro + electrón \Rightarrow ion negativo

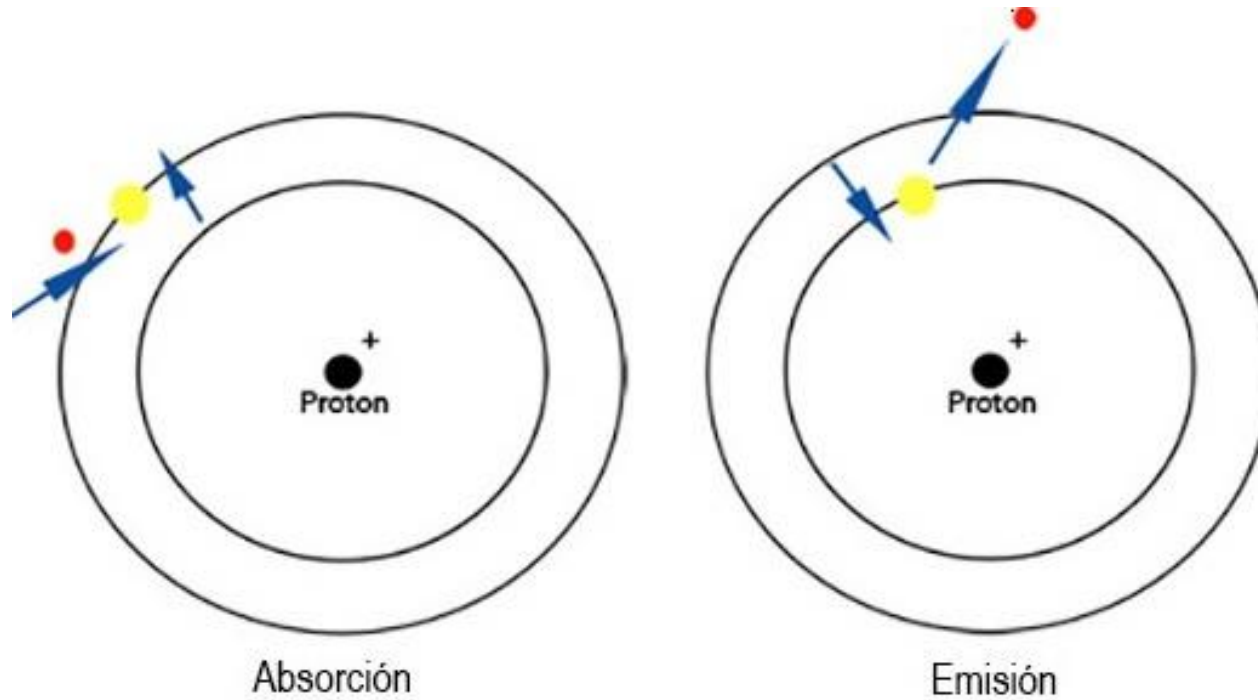


Átomo neutro - electrón \Rightarrow ion positivo

INTERACCIONES DE FOTONES

3.5. Excitación

- **Absorción**.- cuando el fotón absorbido mueve al electrón a una órbita superior de más energía.
- **Emisión**.- cuando es liberado un fotón, el electrón desciende a una órbita de menor energía.



INTERACCIONES DE FOTONES

3.6. El fotón

- En física cuántica se estudia el mundo microscópico, muchos elementos se encuentran solo en ciertas cantidades mínimas (elementales) o en números enteros de estas cantidades elementales, entonces se dice que están **cuantificados**. La cantidad elemental relacionada se llama **quantum**.
- En 1905, Einstein propuso que la radiación electromagnética está cuantificada y existe en cantidades elementales (quanta), que ahora llamamos **fotones**.
- De acuerdo con la propuesta de *Einstein*, el quantum de una onda de luz de frecuencia f tiene una energía de:

$$E = h\nu \quad (\text{energía de un fotón})$$

Donde h es la constante de Planck, que tiene un valor de $6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} = 4.14 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$

- La energía mínima que una onda de luz de frecuencia ν es $h\nu$, que es la energía de un solo fotón. (está cuantizada)

INTERACCIONES DE FOTONES

3.7. Tipos de interacciones

<i>Radiación</i>	<i>Blanco de la colisión</i>	<i>Tipos de colisión</i>		
		<i>Elástica</i>	<i>Inelástica</i>	<i>Absorción</i>
Partícula alfa	Núcleo	Dispersión de Rutherford	Bremstrahlung	Transmutación
	electrones		Ionización y excitación	
Partícula beta	Núcleo	Dispersión de Rutherford	Bremsstrahlung	Captura electrónica
	electrones		Ionización y excitación	Aniquilación
Neutrones	Núcleo	Moderación de neutrones	Resonancia y dispersión	Reacciones nucleares
	electrones			
Rayos X o gamma	Núcleo	Dispersión de Thomson	Efecto Mossbauer	Fotodesintegración Producción de pares
	electrones	Dispersión de Rayleigh Dispersión de Thomson	Efecto Compton	Efecto fotoeléctrico

INTERACCIONES DE FOTONES

3.8. Atenuación de un haz de fotones

La **intensidad** $I(x)$, número de fotones por unidad de área y por unidad de tiempo, de un haz estrecho de fotones, atenuado por un atenuador de espesor x , está dado por:

$$I(x) = I(0)e^{-\mu(h\nu, Z)x}$$

Donde: $I(0)$ es la intensidad original de un haz no atenuado y $\mu(h\nu, Z)$ es el coeficiente de atenuación lineal que depende de la energía $h\nu$ y del número atómico del atenuador Z .

- La capa **hemirreductora** (HVL o $x_{1/2}$) está definida como el espesor de un atenuador que atenúa la intensidad del haz primario en 50% de su valor original.

$$x_{1/2} = HVL = \ln(2) / \mu$$

INTERACCIONES DE FOTONES

3.8. Atenuación de un haz de fotones (cont.)

- Similarmente, la capa **decimorreductora** (TVL o x1/10) está definida como el espesor de un atenuador que atenúa la intensidad del haz primario en 10% de su valor original.

$$x_{1/10} = TVL = \ln(10) / \mu$$

- El **coeficiente de atenuación másico** μ_m , el **coeficiente de atenuación atómico** $_a\mu$, y el **coeficiente de atenuación electrónico** $_e\mu$ son proporcionales al **coeficiente de atenuación lineal** μ de la siguiente manera:

$$\mu = \rho\mu_m = \frac{\rho N_A}{A} {}_a\mu = \frac{\rho N_A Z}{A} {}_e\mu$$

donde: ρ , Z y A son la densidad, el número atómico y el número másico, respectivamente, del atenuador.

- Las unidades típicas para los coeficientes de atenuación lineal, másico, atómico y electrónico son respectivamente: cm^{-1} , cm^{-2}/g , $cm^2/\text{átomo}$ y $cm^2/\text{electrón}$.

INTERACCIONES DE FOTONES

3.9. Tipos de interacciones de fotones

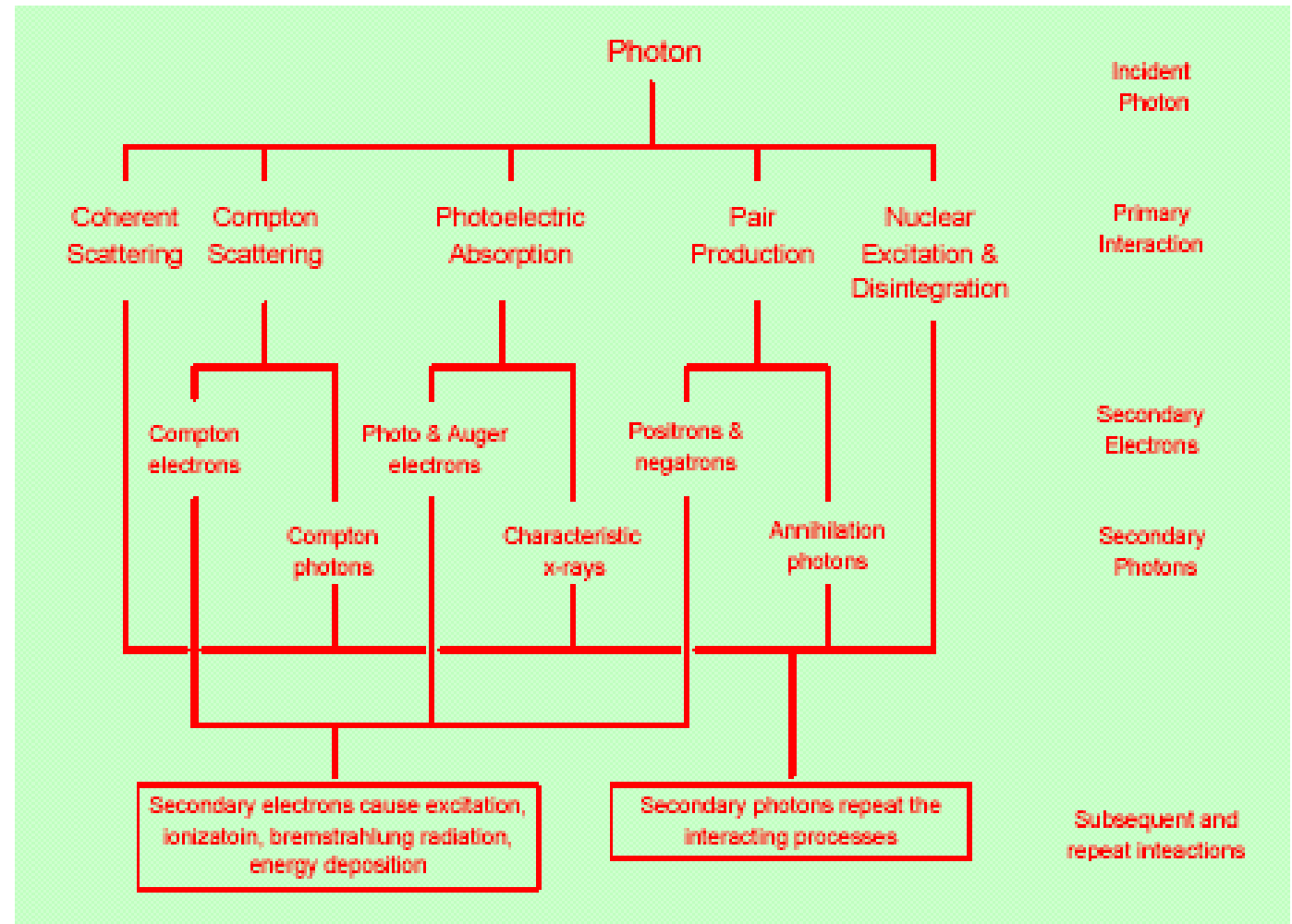
Los fotones pueden tener varias interacciones con átomos de un atenuador. La probabilidad o sección eficaz para cada interacción depende de la energía $h\nu$ del fotón y del número atómico Z del atenuador.

- La interacción de los fotones puede ser con electrones fuertemente enlazados al átomo, donde
 - El átomo actúa como un todo (efecto fotoeléctrico, dispersión coherente),
 - Con el campo de un núcleo atómico (producción de pares), o
 - Con electrones orbitales libres (efecto Compton, producción triple).
- Un electrón enlazado fuertemente a un átomo es un electrón orbital con una energía de enlace del orden de, o ligeramente mayor que, la energía del fotón, mientras que un electrón libre es un electrón con una energía de enlace que es mucho menor que la energía del fotón.

INTERACCIONES DE FOTONES

3.9. Tipos de interacciones de fotones (cont.)

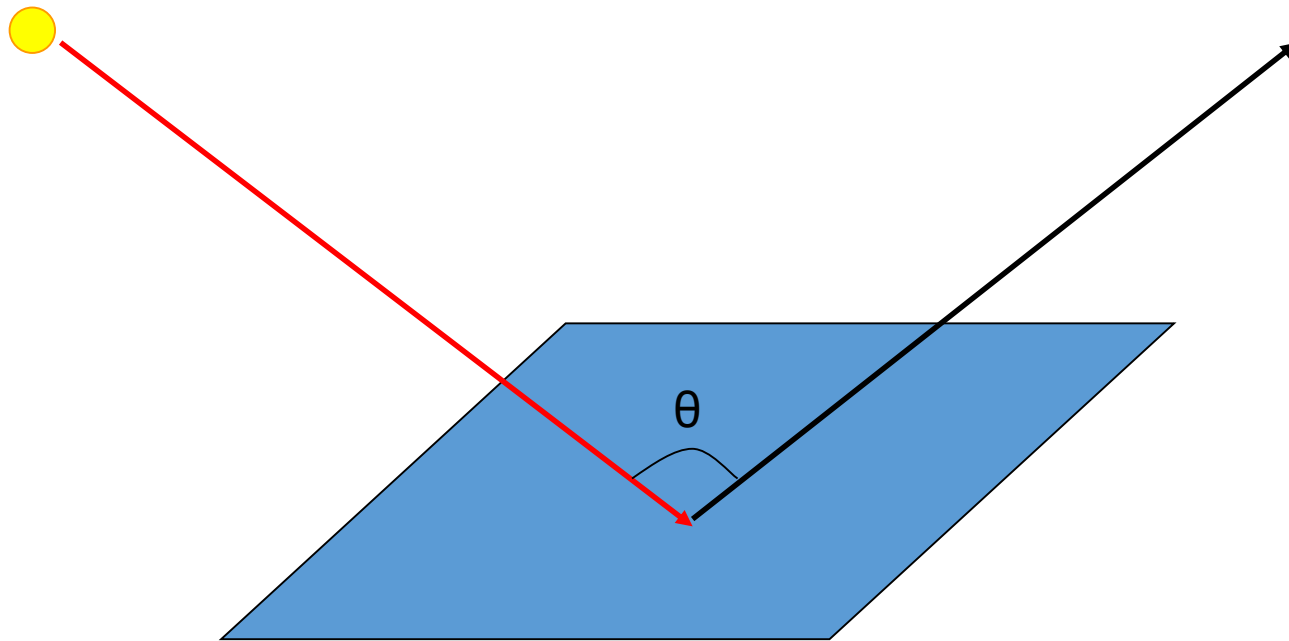
- Estos procesos y sus subsecuentes eventos se indican esquemáticamente en la figura.



INTERACCIONES DE FOTONES

3.10. Dispersión coherente

Proceso donde un fotón interactúa con un átomo pero no transfiere su energía. Se dice dispersión de Thomson si el fotón interactúa con el núcleo, y dispersión de Rayleigh si interactúa con los electrones orbitales del átomo.



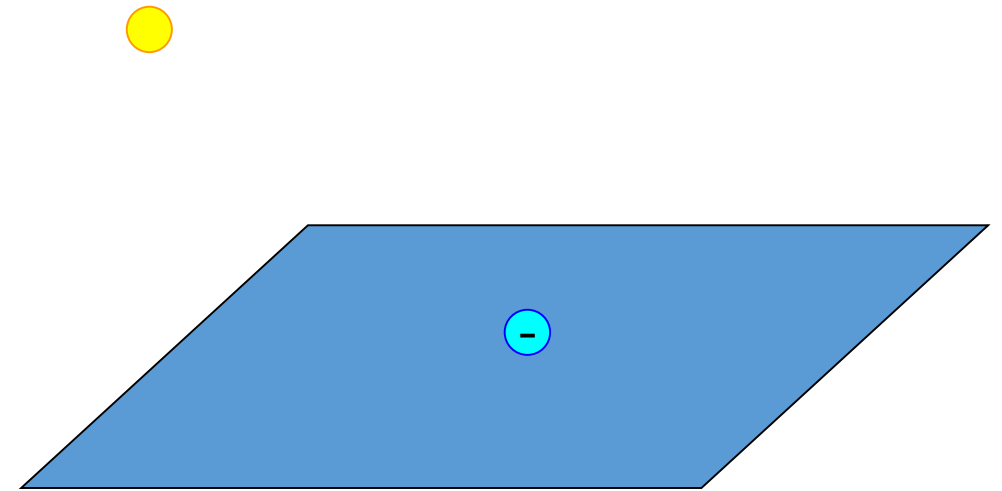
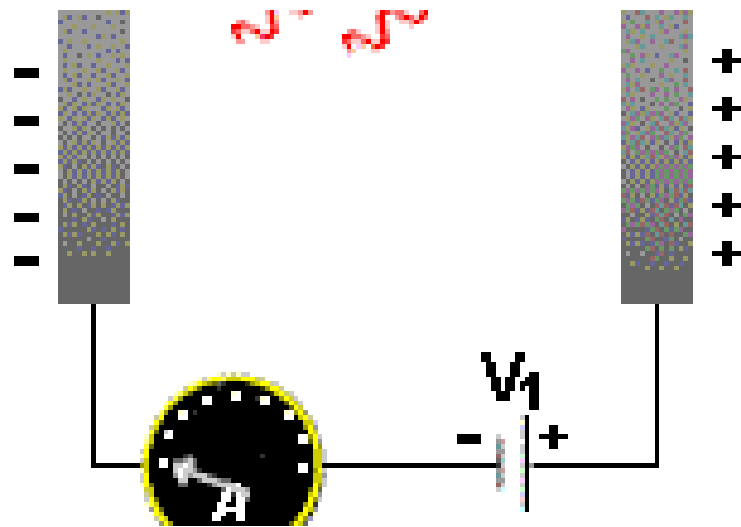
- El fotón incidente interactúa con el átomo blanco, logrando que se excite.
- La interacción causa que el electrón vibre con ν igual a la del fotón incidente.
- El electrón que vibra emite un fotón con la misma frecuencia del fotón incidente, y produce la desexcitación del átomo.
- El resultado neto de la dispersión coherente es el cambio de la dirección del fotón sin transferencia de energía al átomo.
- El átomo no queda ni ionizado ni en ningún estado excitado.

INTERACCIONES DE FOTONES

3.11. Efecto fotoeléctrico

Ocurre cuando un fotón incidente es totalmente absorbido causando *ionización*, en una capa interna, de un átomo.

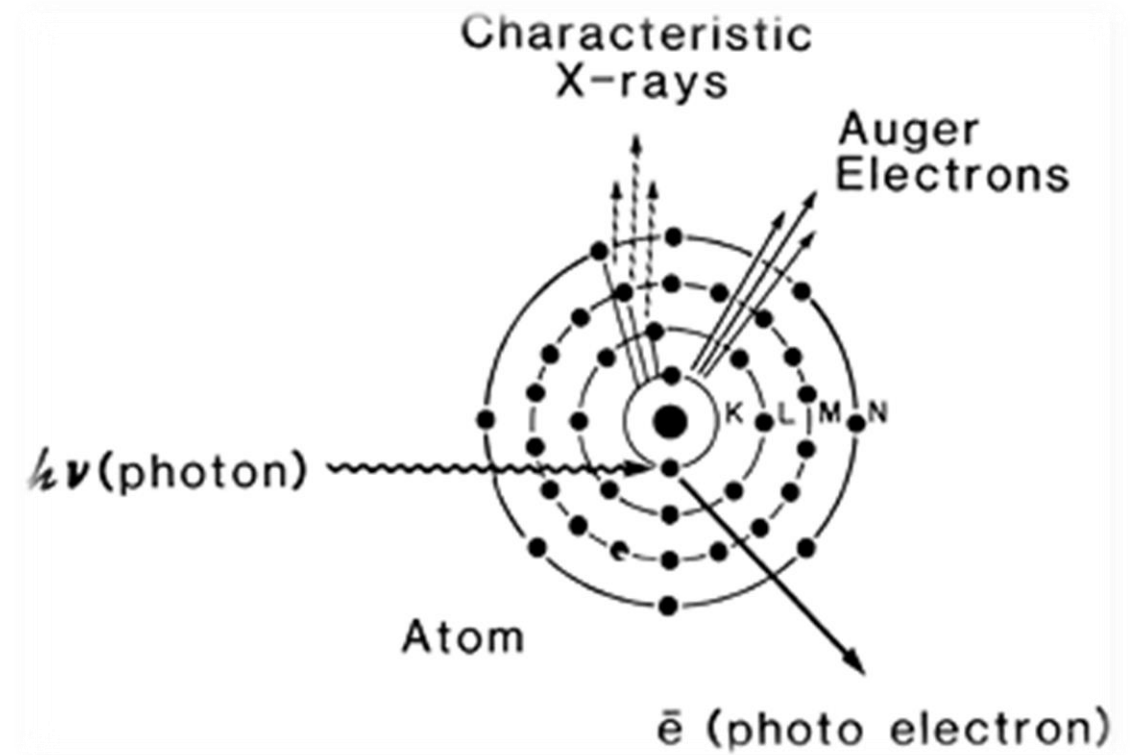
El resultado de la ionización es que el electrón (fotoelectrón) sale del átomo, y el fotón incidente desaparece cediendo toda su energía (absorción de fotones)



INTERACCIONES DE FOTONES

3.11. Efecto fotoeléctrico (cont.)

- La salida del fotoelectrón causa una vacancia en la capa interna del átomo dejándolo en estado excitado. La desexcitación produce emisión de radiación secundaria (radiación característica o electrones Auger).



INTERACCIONES DE FOTONES

3.11. Efecto fotoeléctrico (cont.)

- La energía cinética del electrón que sale es igual a la diferencia de energía entre la energía del fotón incidente y la energía de enlace del electrón que sale del átomo.

$$KE = h\nu - BE$$

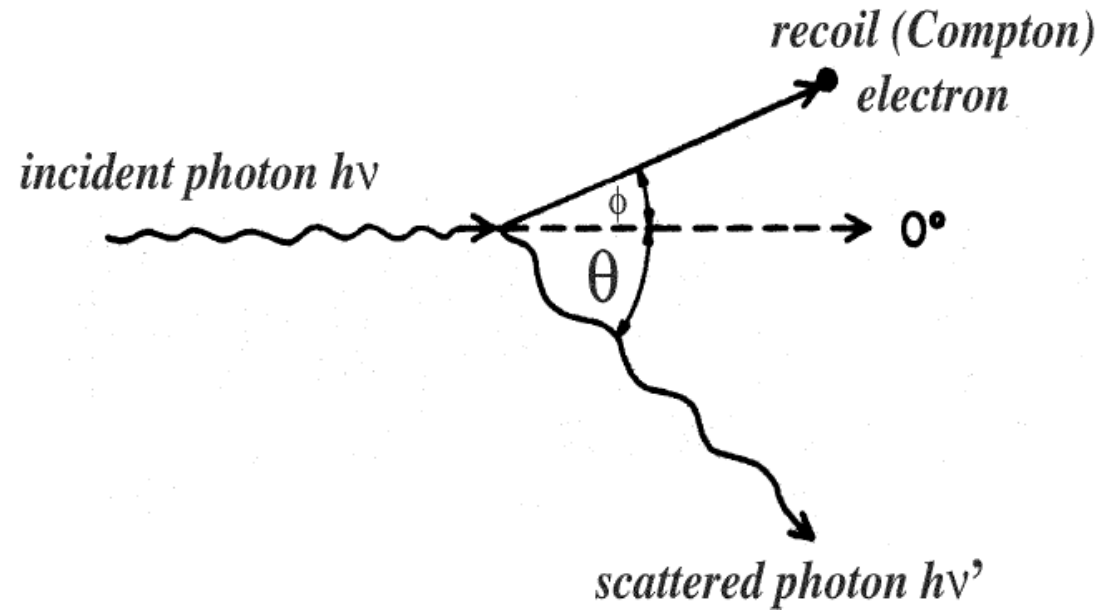
Donde KE representa la energía cinética del electrón saliente y BE es la energía de enlace del electrón al átomo. La notación $h\nu$ representa la energía del fotón incidente.

- Materiales de alto Z , como el plomo, absorben radiación de baja energía y son utilizados como materiales de blindaje.

INTERACCIONES DE FOTONES

3.12. Dispersión incoherente (Efecto Compton)

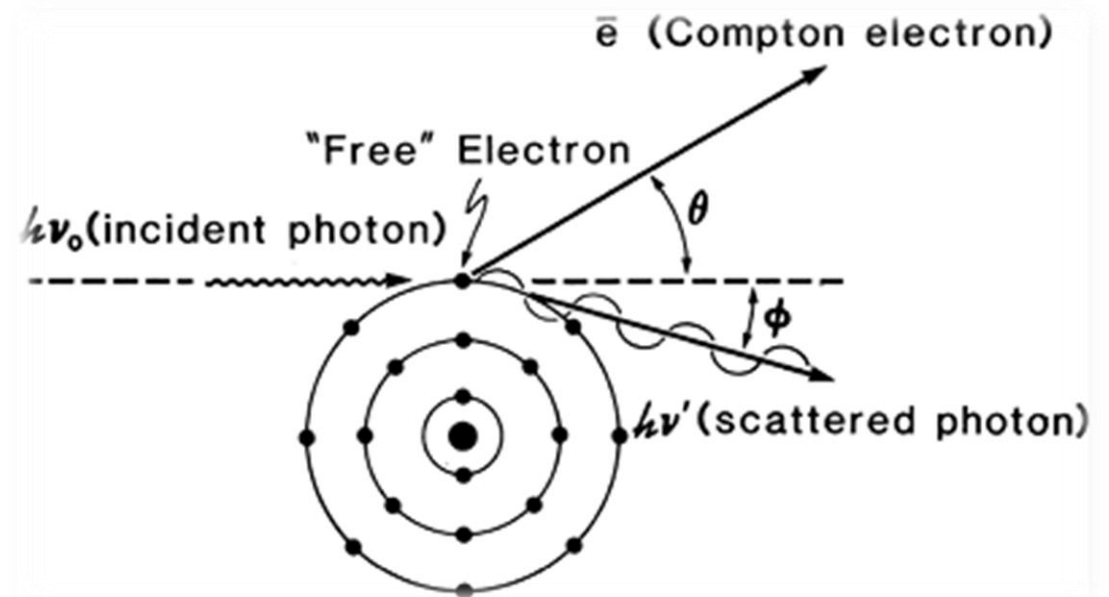
- La dispersión de Compton es un proceso de colisión entre un fotón incidente y un electrón orbital libre que es sacado del átomo.



INTERACCIONES DE FOTONES

3.12. Dispersión incoherente (Efecto Compton) (cont.)

- El concepto de electrón libre implica que la energía de enlace del electrón es muy pequeña comparada con la energía impartida por el fotón.
- El electrón que sale del átomo se llama electrón Compton. El resultado de la dispersión Compton es la ionización del átomo.
- El fotón incidente se dispersa cambiando su dirección. El fotón dispersado (Compton) tendrá otras interacciones creando fotones secundarios y electrones, antes de ser absorbido por otro átomo debido al efecto fotoeléctrico.



INTERACCIONES DE FOTONES

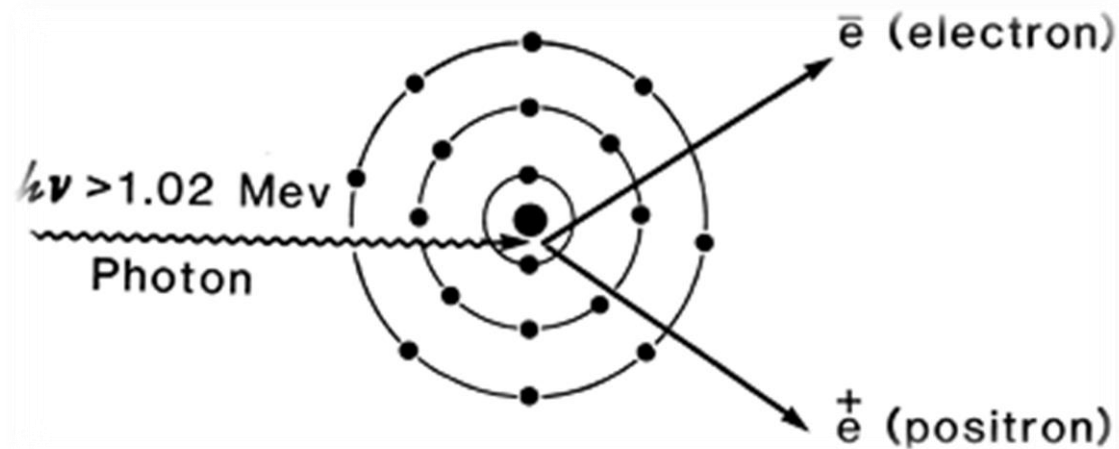
3.12. Dispersión incoherente (Efecto Compton) (cont.)

- El electrón Compton es capaz de causar ionizaciones y excitaciones produciendo efectos biológicos en el tejido.
- El efecto Compton es predominante en tejido sobre un amplio rango de energías que van desde 60 keV hasta 15 MeV en tejido blando.
- La dispersión Compton resulta en radiación dispersa que no lleva información útil, y que solo contribuye a incrementar el velo de la película radiográfica. Por esto se han creado grillas que son usadas para reducir la dispersión Compton que llega a la película radiográfica.
- La retrodispersión puede causar serios problemas de exposición a la radiación en el personal, especialmente en fluoroscopia. Por otro lado, la dispersión Compton es el modo principal de interacción que causa el daño de la célula en radioterapia.

INTERACCIONES DE FOTONES

3.13. Producción de pares

- La producción de pares es un proceso mediante el cual un fotón incidente es aniquilado resultando en la creación simultánea de un par electrón positrón en la cercanía de un núcleo atómico.
- Este es un mecanismo de absorción total de energía. Es un ejemplo donde la energía se convierte en masa.
- Para que la producción de pares ocurra, la energía del fotón incidente debe tener por lo menos la energía umbral de 1.022 MeV.



INTERACCIONES DE FOTONES

3.14. Bibliografía

- Podgorsak, E. B. (2003). Review of radiation oncology physics: a handbook for teachers and students. Vienna, Austria: IAE Agency.
- KHAN, F., “The physics of radiation therapy”, Williams and Wilkins, Baltimore, Maryland, U.S.A. (1994).
- ATTIX, F.H., “Introduction to radiological physics and radiation dosimetry”, Wiley, New York, New York, U.S.A. (1986).
- Podgoršak, E. B. (2006). Radiation physics for medical physicists (p. 437). Berlin: Springer.