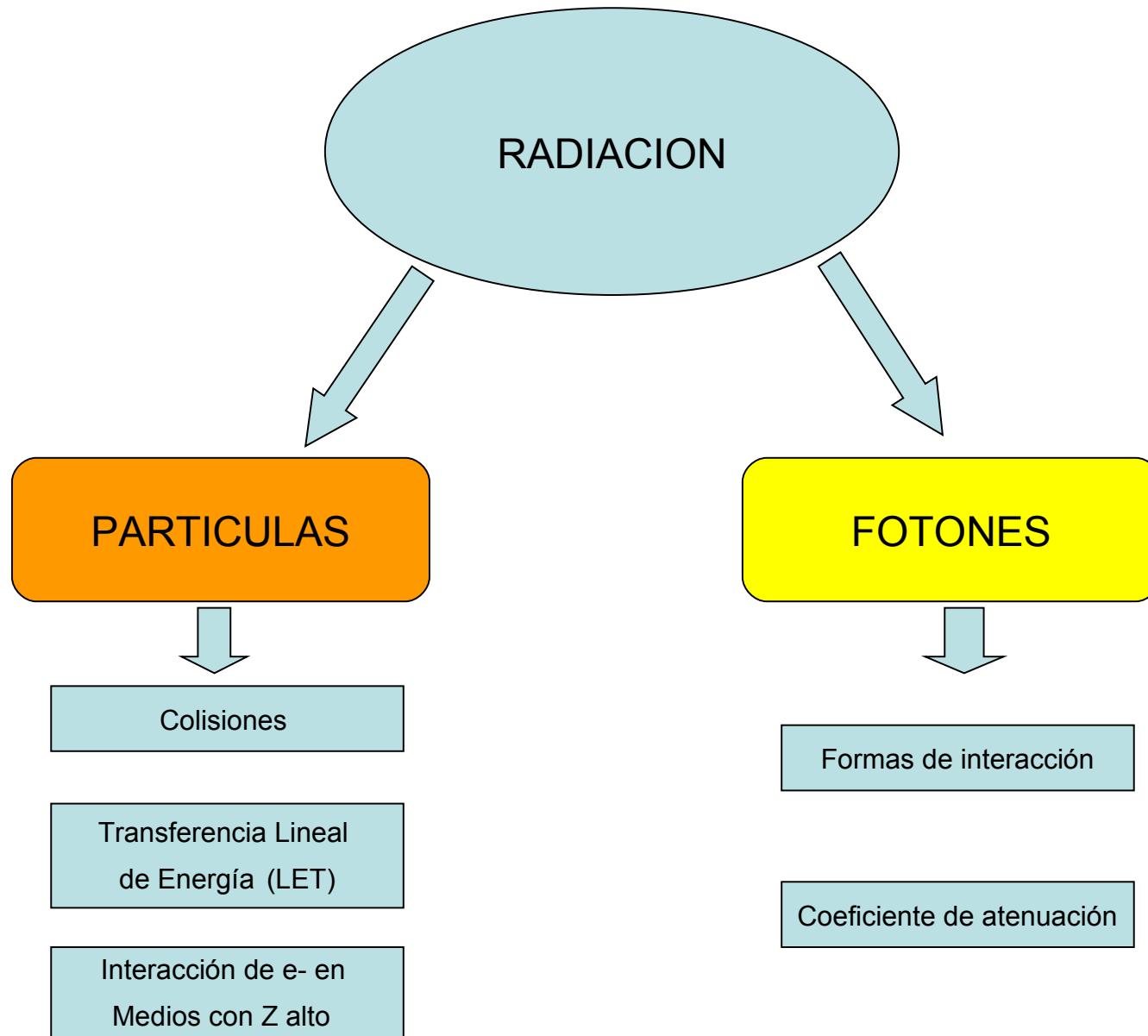


Interacción de la radiación con la materia

Fernando Mata Colodro

Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica.

Hospital General Universitario Santa Lucía. Cartagena.



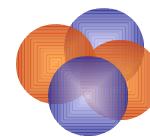
Interacción de partículas con la materia

Cuando las partículas interaccionan con la materia producen una serie de efectos, que son función de:

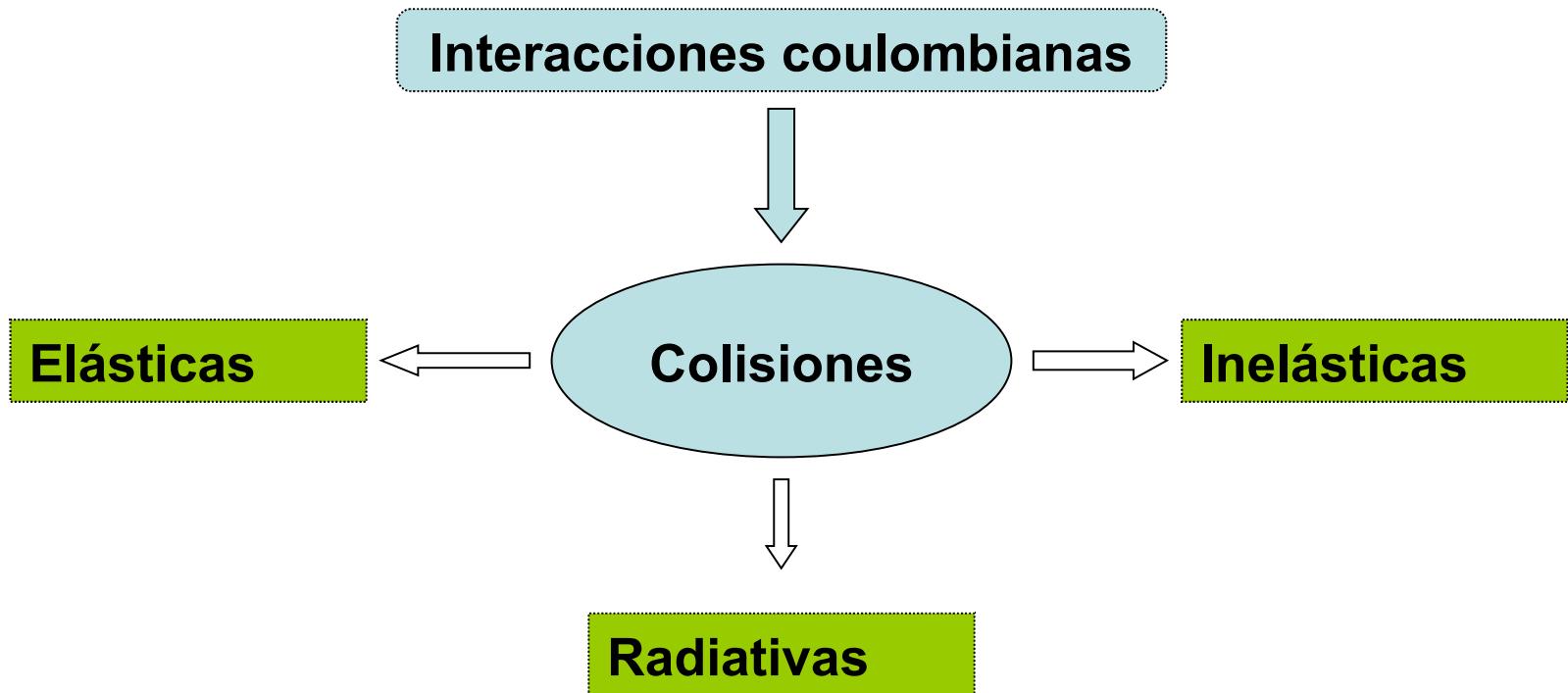
- **Tipo de partícula**
- **Energía**
- **Medio de interacción**

- Masa
- Carga (+, -)

- estado Físico
- densidad
- componentes (z)

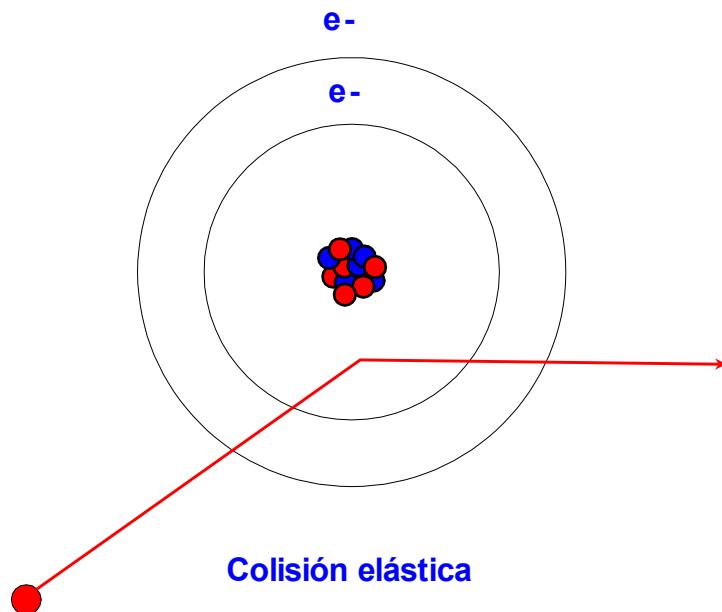


Interacción de partículas cargadas.



Colisión elástica

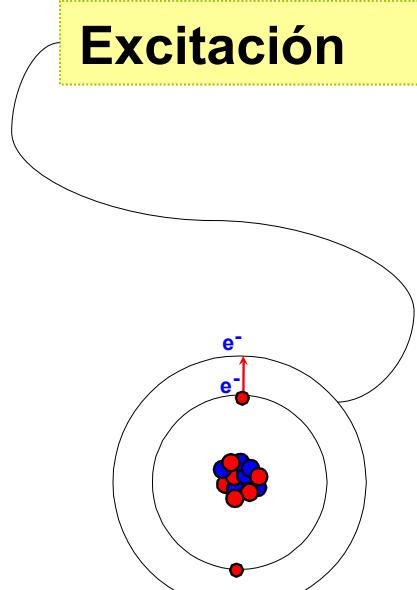
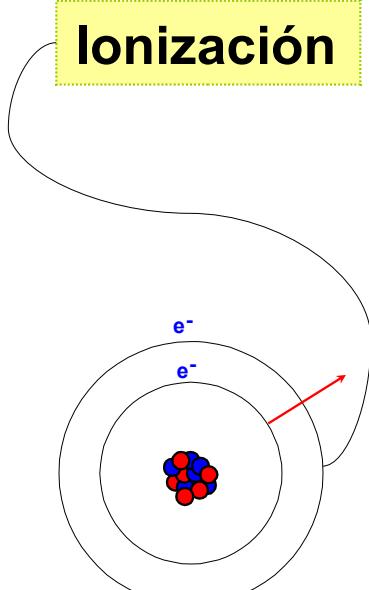
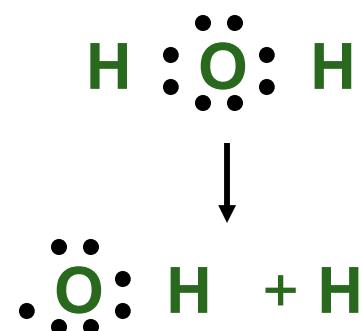
- La partícula cambia su trayectoria.
- Cesión de energía en forma de energía cinética.
- No se produce alteración atómica ni nuclear en el medio.



Colisión inelástica

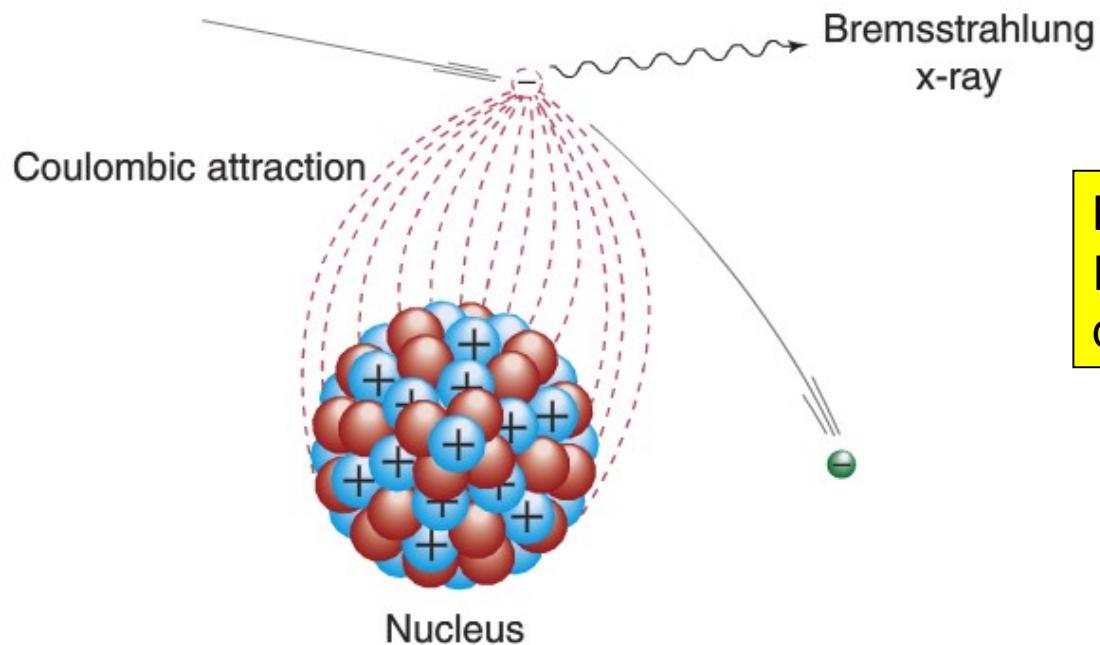
Transferencia de energía
a electrones del átomo

Esto da lugar a

Excitación**Ionización****Disociación**

Colisión radiativa

La partícula cargada se "frena" o se "desvía" en su interacción con los átomos del medio y como resultado **emite radiación electromagnética (Bremsstrahlung)**

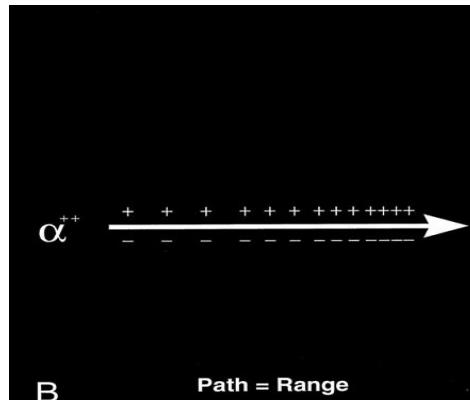
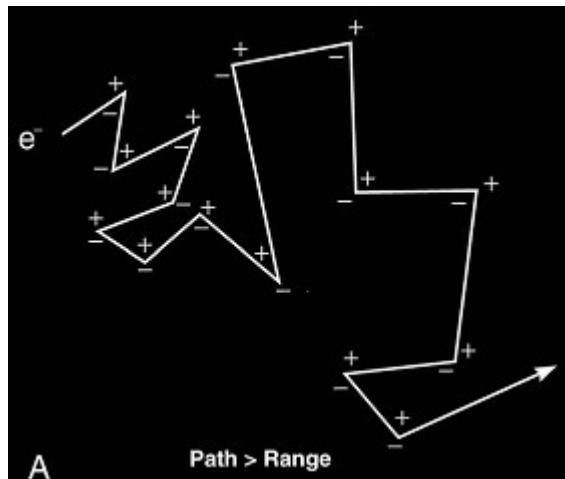


Proporcional a Z^2 del medio
Inversamente proporcional a m^2
de la partícula incidente

Transferencia Lineal de Energía (LET)

Se define como la energía localmente transferida por la partícula al medio por unidad de longitud de su recorrido (MeV/cm), corresponde con las pérdidas energéticas por procesos de ionización y excitación:

Diferencia entre recorrido y alcance: electrón y partícula α



La LET es:

Proporcional a la carga de la partícula incidente e inversamente proporcional a la energía de la partícula incidente

High LET	Low LET
particles $\{\alpha$ p	e^- β^- β^+ γ ray x ray } “electrons” } electromagnetic radiation

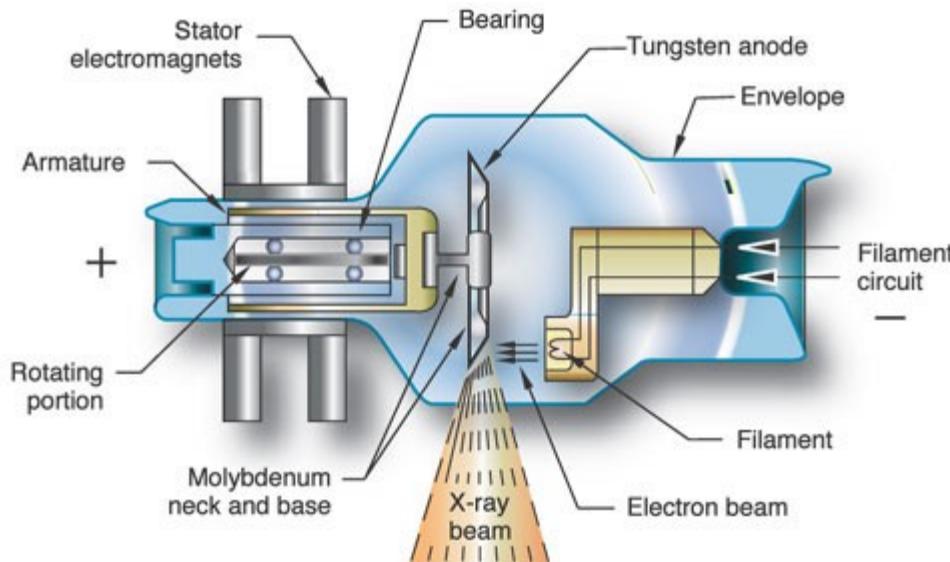
A mayor LET mayor probabilidad de daño

Interacción de electrones en medios con Z altos

La generación de rayos X se fundamenta en la producción de radiación de frenado.

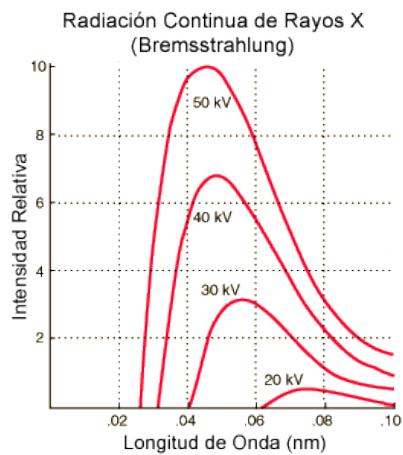
Esta radiación se consigue impactando e- sobre un material de alto Z (ánodo).

Los e- se aceleran aplicando una diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo: tensión kV → Energía de los fotones keV

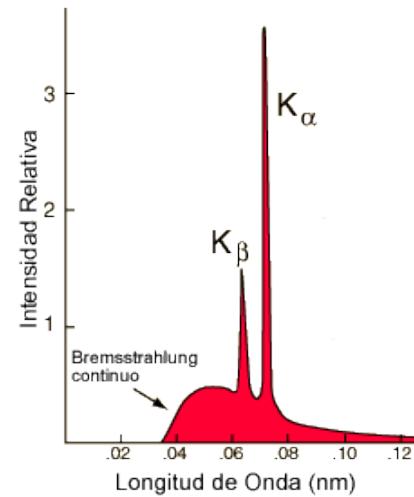


Solo el **1%** de la energía que transportan se transforma en rad.
Electromagnética: **RX:**

Bremsstrahlung



Radiación característica



Interacción de fotones con la materia

Dispersión Rayleigh

Dispersión Compton

Efecto fotoeléctrico

Producción de pares

- Son las cuatro principales formas de interacción de los fotones con la materia.
- Las tres primeras se encuentran presentes en procesos diagnósticos RX, MN.
- La probabilidad de aparición de cada una de ellas viene caracterizada por su sección eficaz.
- Tendremos que tener en cuenta tanto la energía del fotón incidente: E_{hv} como la energía de ligadura de los electrones del medio dispersor: E_L

Dispersión Rayleigh

$$E_{hv} \ll E_L$$

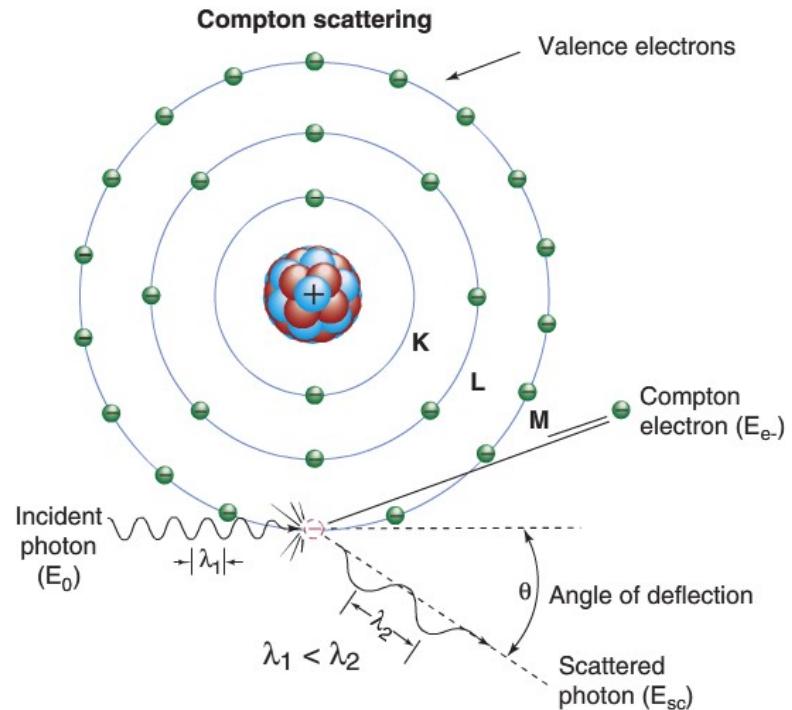
- El fotón incidente interacciona y excita el átomo en su conjunto.
- No se produce ionización ni perdida de energía.
- Tiene lugar a energías bajas (15 a 30 keV), aumentando la probabilidad al disminuir la energía.
- El fotón es dispersado (re-emitido) en un rango de direcciones, próximas a la del fotón incidente

- Efecto negativo en imagen.
- ~5% para $E > 70\text{ kV}$.
- ~10% para 30 kV (mamografía).

Dispersión Compton

$$E_{hv} \gg E_L$$

- Interacción de un fotón con un electrón de las capas externas.
- Tiene como resultado la ionización del átomo, un fotón secundario (dispersado) y un electrón liberado.
- El electrón Compton pierde energía produciendo ionizaciones y/o excitaciones.



Dispersión Compton

La probabilidad de que se produzca una interacción Compton:

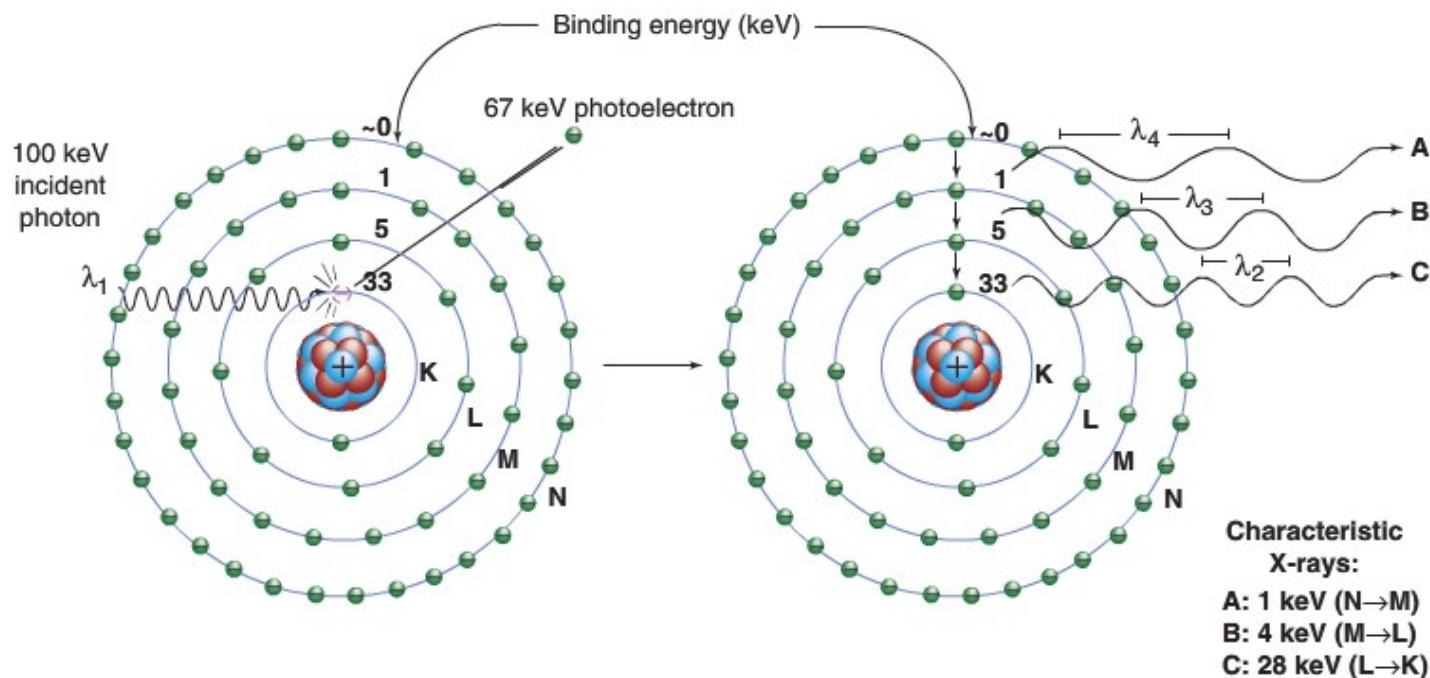
- ↓ cuando la energía de los fotones ↑ (aproximadamente como $1/E$).
- Aumenta al aumentar la densidad eléctronica del medio ($\sim \text{cte}$), por tanto:
 - Independiente de Z del blanco .
 - Proporcional a la densidad atómica del medio (ρ)

- Principal contribución a la radiación dispersa en diagnóstico.
- A mayor E_{hv} el ángulo θ del fotón dispersado es menor, aumenta la probabilidad de ser detectado disminuyendo el contraste.
- En el rango de energías usadas en diagnóstico(20-100 kV) la mayor parte de la energía es transferida al fotón dispersado.

Efecto fotoeléctrico

$$E_{hv} \gg E_L$$

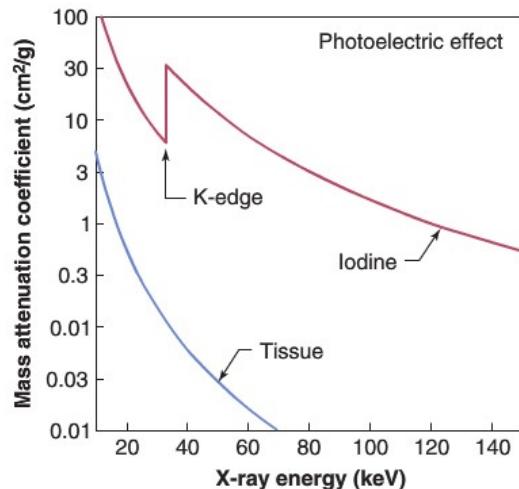
- Interacción de un fotón con un electrón de las capas internas.
- Tiene como resultado un photoelectrón y la emisión de radiación característica (y/o electrones Auger)
- Toda la energía del fotón incidente es transmitida al photoelectrón.



Efecto fotoeléctrico

- La probabilidad de que se produzca una interacción es proporcional a Z^3/E^n ($n>3$).

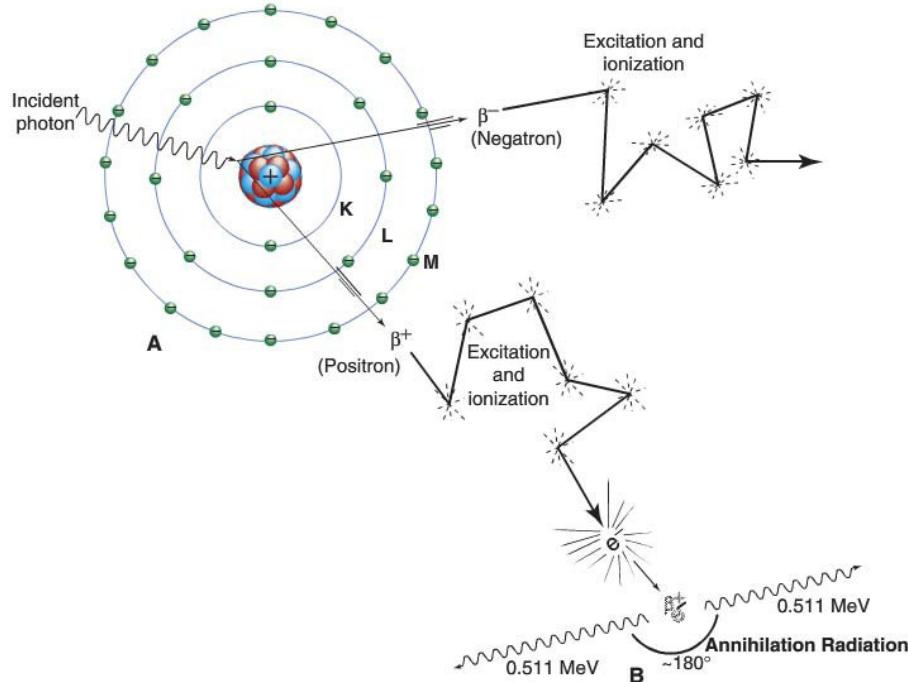
- Al aumentar la probabilidad de interacción aumentará el contraste.
- Explica (en parte) la disminución de contraste al aumentar la energía.
- Aumento de probabilidad a energías justo por encima de la energía de ligadura. Más significativo para elementos de Z elevado que para tejido.



Use in Radiology	Element	Symbol	Atomic # (Z)	k-edge Energy
Contrast Agents	Iodine	I	53	33 keV
	Barium	Ba	56	37 keV
Imaging Detectors	Gadolinium	Gd	64	50 keV
	Cesium (DR)	Cs	55	36 keV

Producción de Pares

$E_{hv} > 1,022 \text{ MeV}$

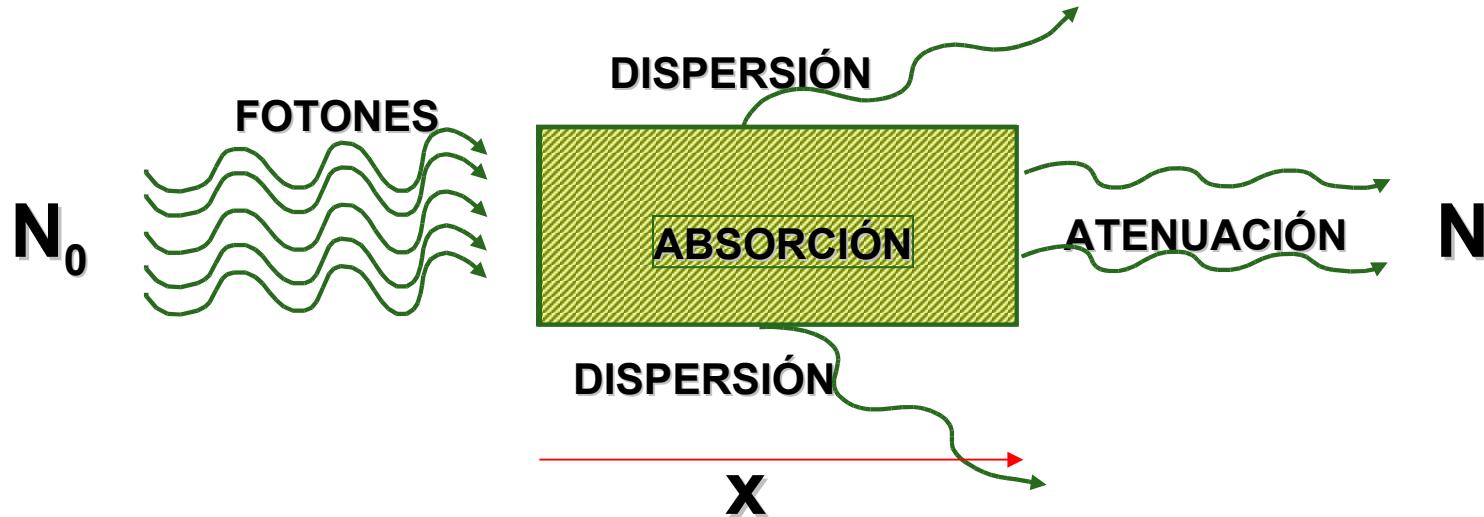


- Interacción de un fotón de energía superior a 1,022 MeV con un núcleo .
- Tiene como resultado un par electrón-positrón (pierden su energía vía ionizaciones-excitaciones)
- Una vez ha perdido su energía el positrón se aniquila con un electrón produciendo dos fotones de 511 keV.

La probabilidad de que se produzca una creación de pares :

- Aumenta con la energía de los fotones (aprox. proporcional a E para $E > 1.02 \text{ MeV}$)
- aumenta con el Z del blanco. (αZ^2)

Macroscópicamente: atenuación de fotones



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

μ (m^{-1}) es el “coeficiente de atenuación lineal, depende de la energía incidente y del material.

Fórmula válida si:

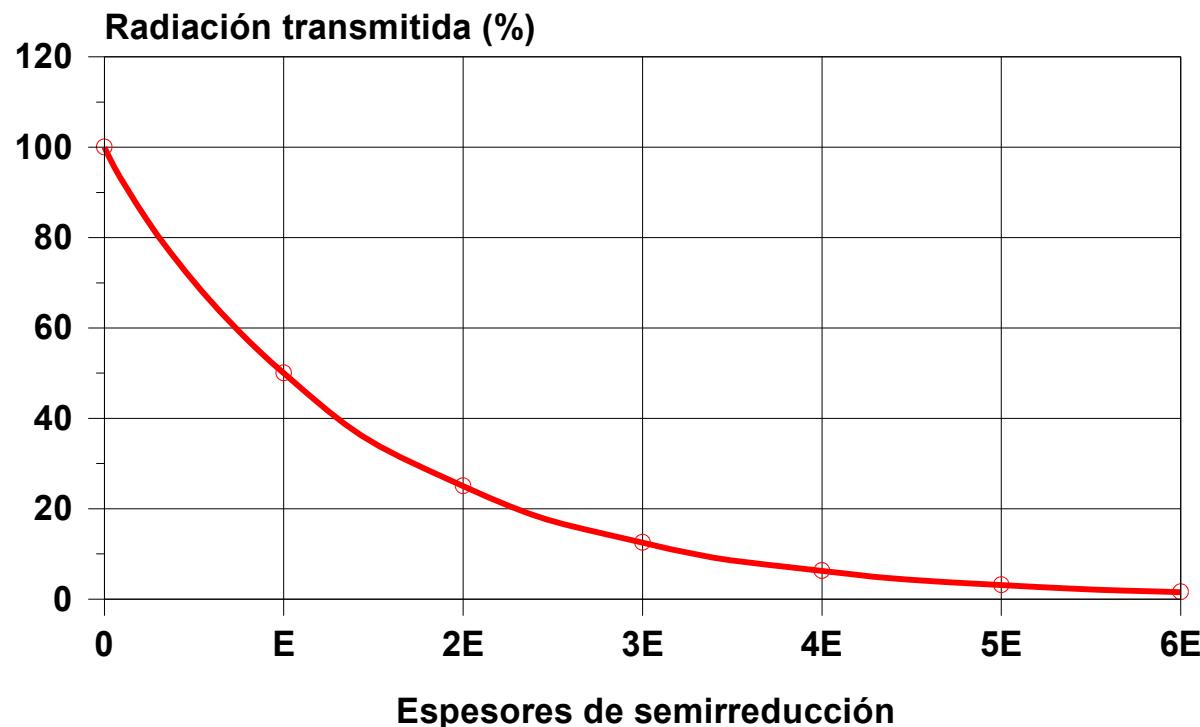
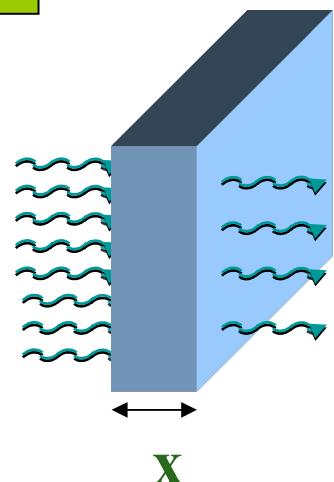
- Fotones monoenergéticos
- Haz colimado
- Absorbente delgado

Macroscópicamente: atenuación de fotones

Coeficiente de atenuación másico: $\mu_m = \mu/\rho$ (cm²/g)

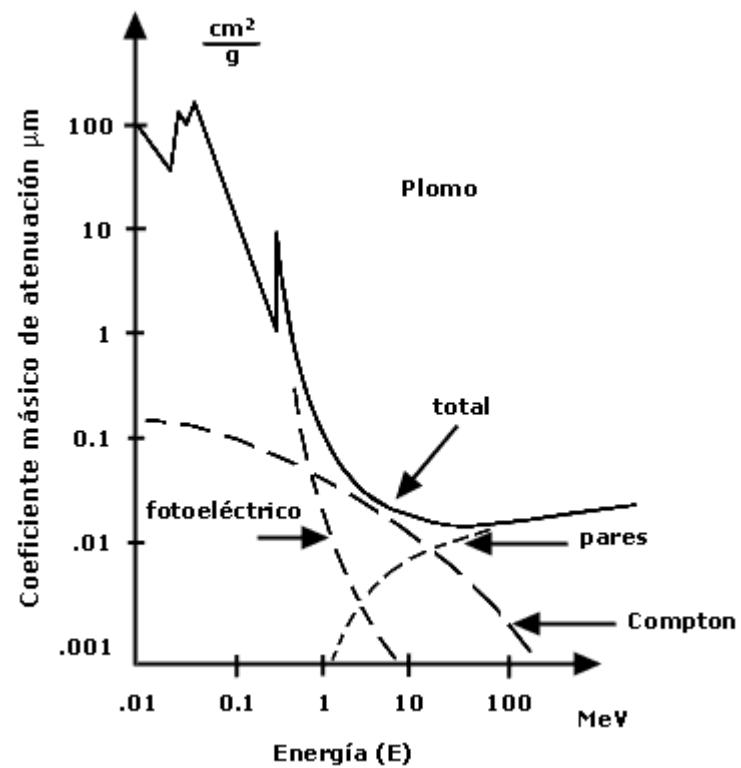
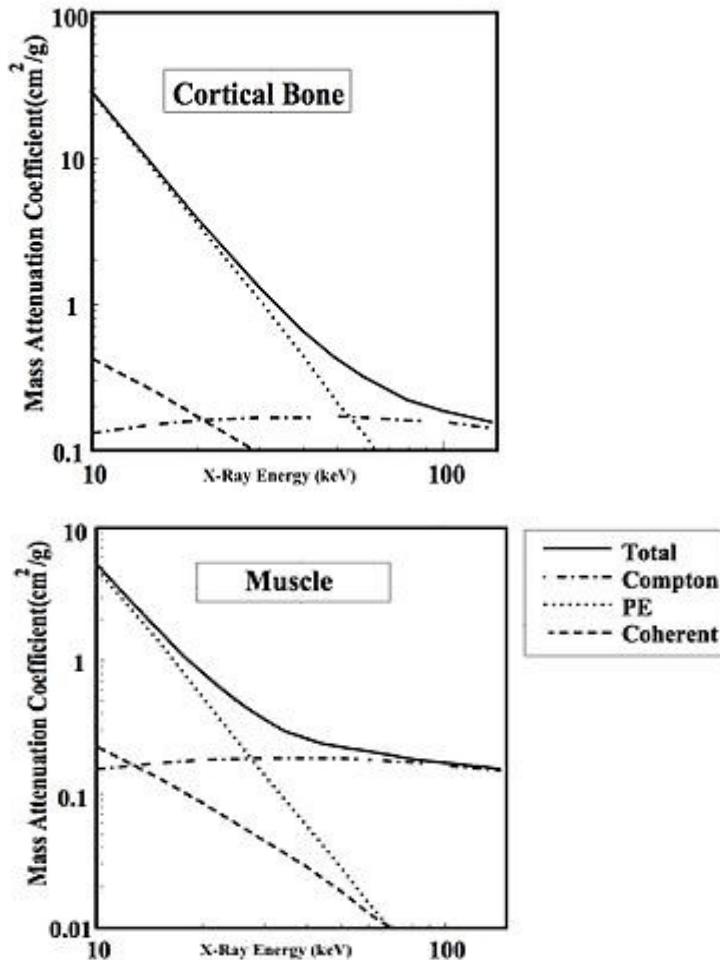
Ley de atenuación: $N = N_0 e^{-\mu_m x_m}$

donde $x_m = x \cdot \rho$



Macroscópicamente: atenuación de fotones

$$\mu = \mu(IF) + \mu(IC) + \mu(CP)$$



Gracias por vuestra atención

