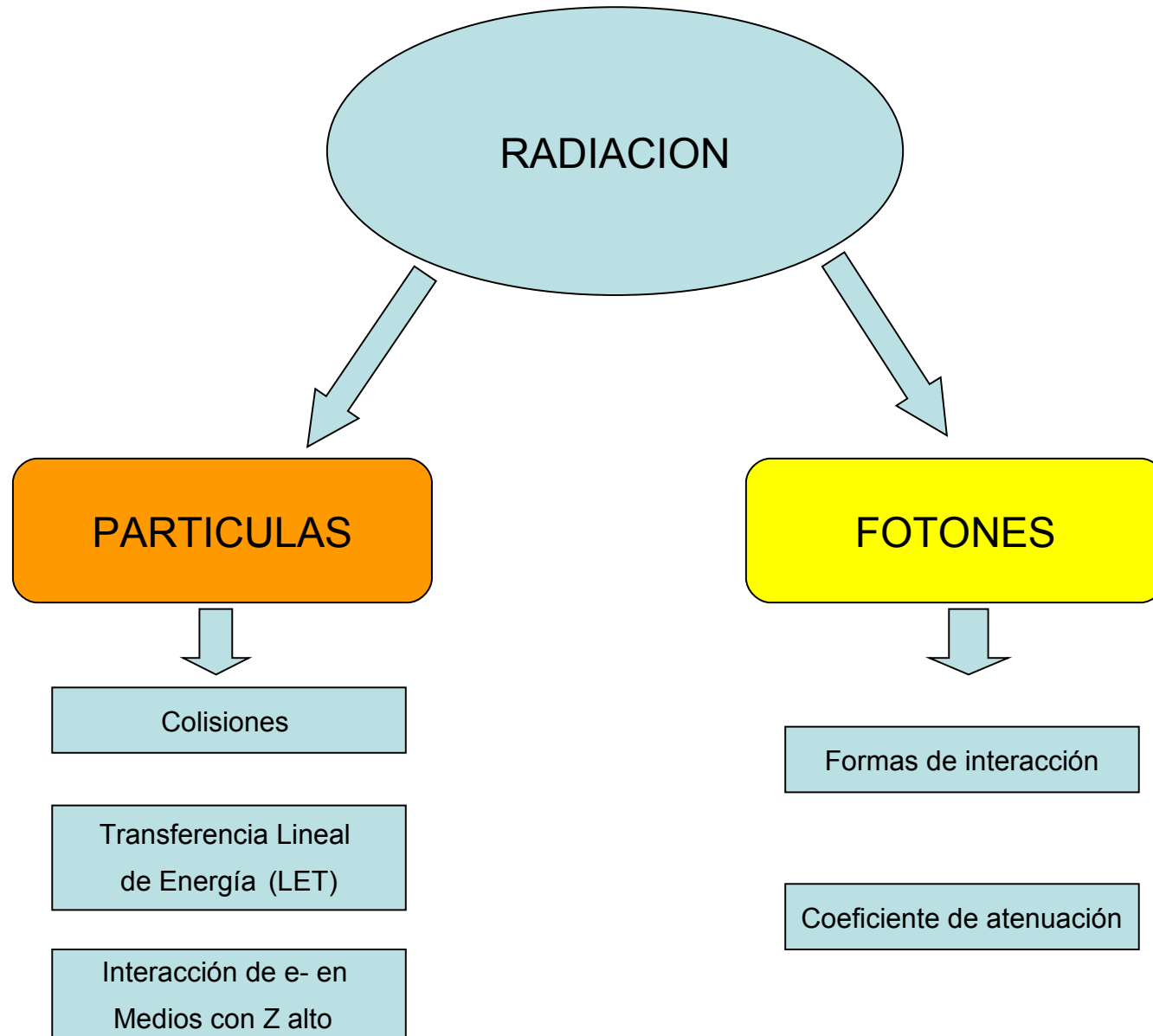


# ***Interacción de la radiación con la materia***

*Fernando Mata Colodro*

*Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica.*

*Hospital General Universitario Santa Lucía. Cartagena.*



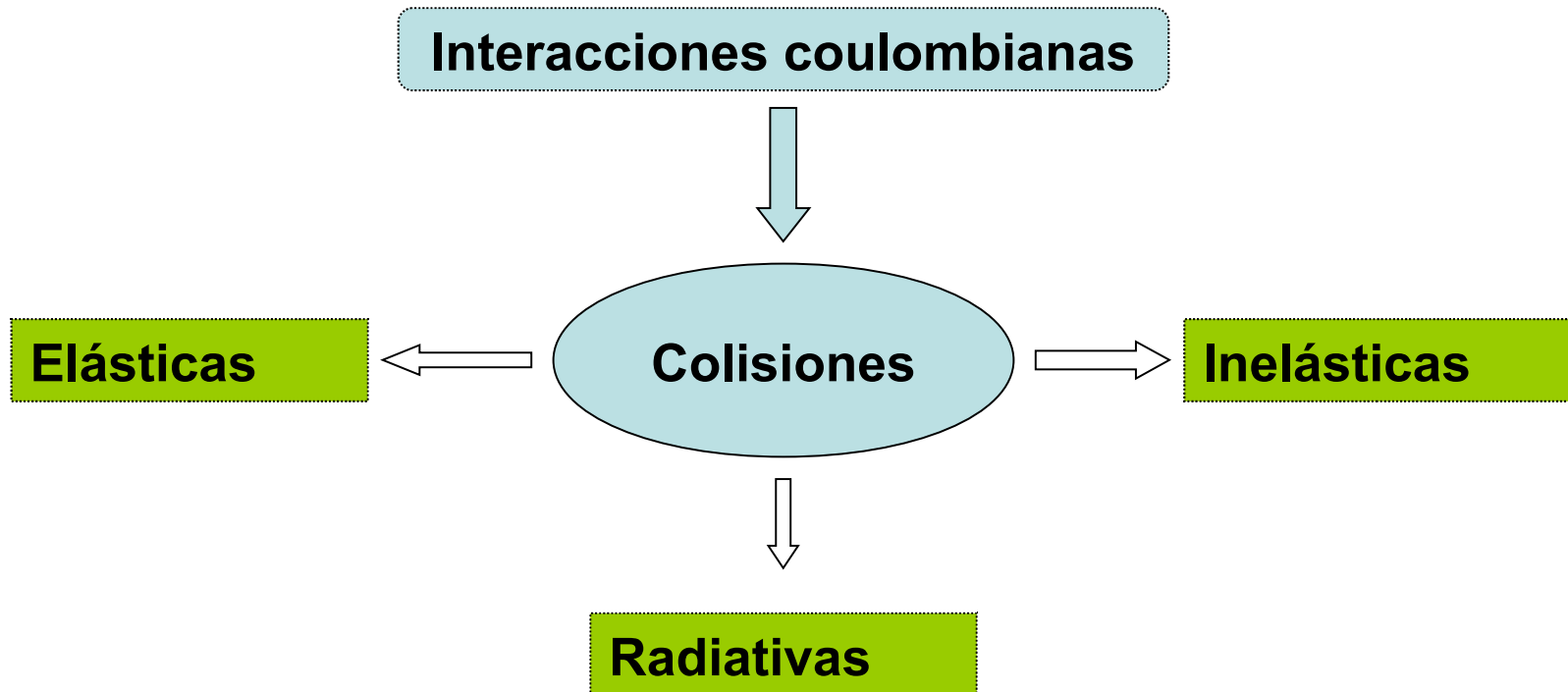
# Interacción de partículas con la materia

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

- Tipo de partícula
  - Masa
  - Carga (+, -)
- Energía
- Medio de interacción
  - estado Físico
  - densidad
  - componentes (z)

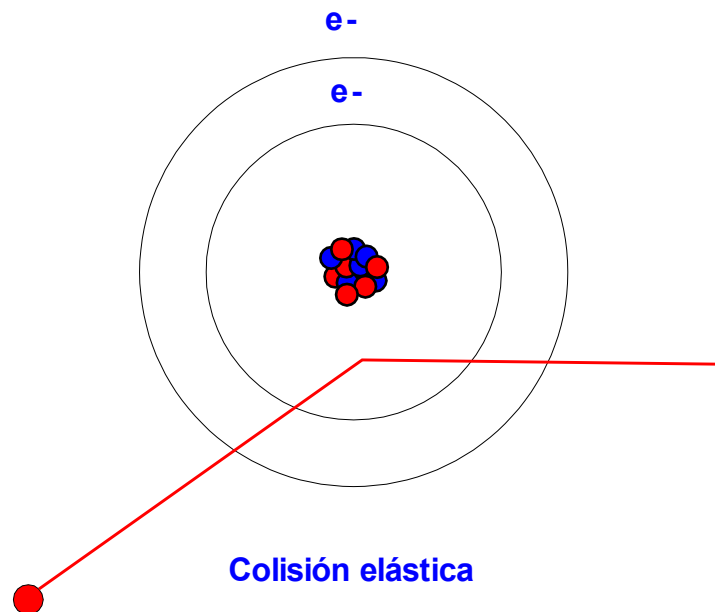


# Interacción de partículas cargadas.



## Colisión elástica

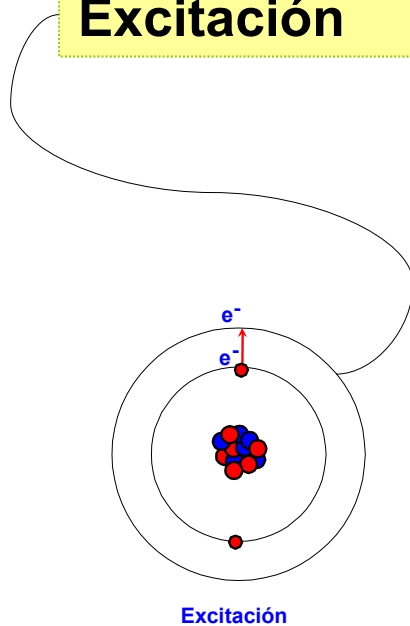
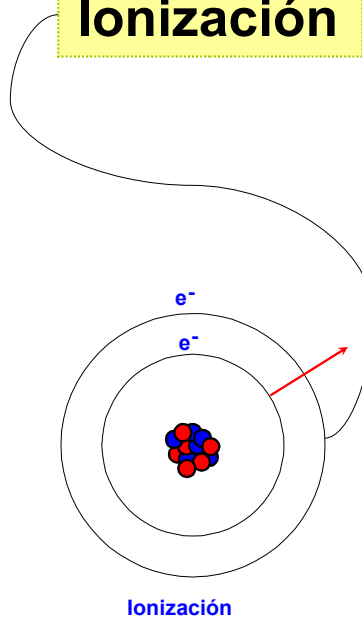
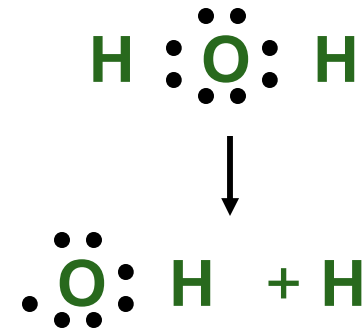
- La partícula cambia su trayectoria.
- **Cesión de energía** en forma de energía cinética.
- **No se produce alteración atómica ni nuclear** en el medio.



**Colisión inelástica**

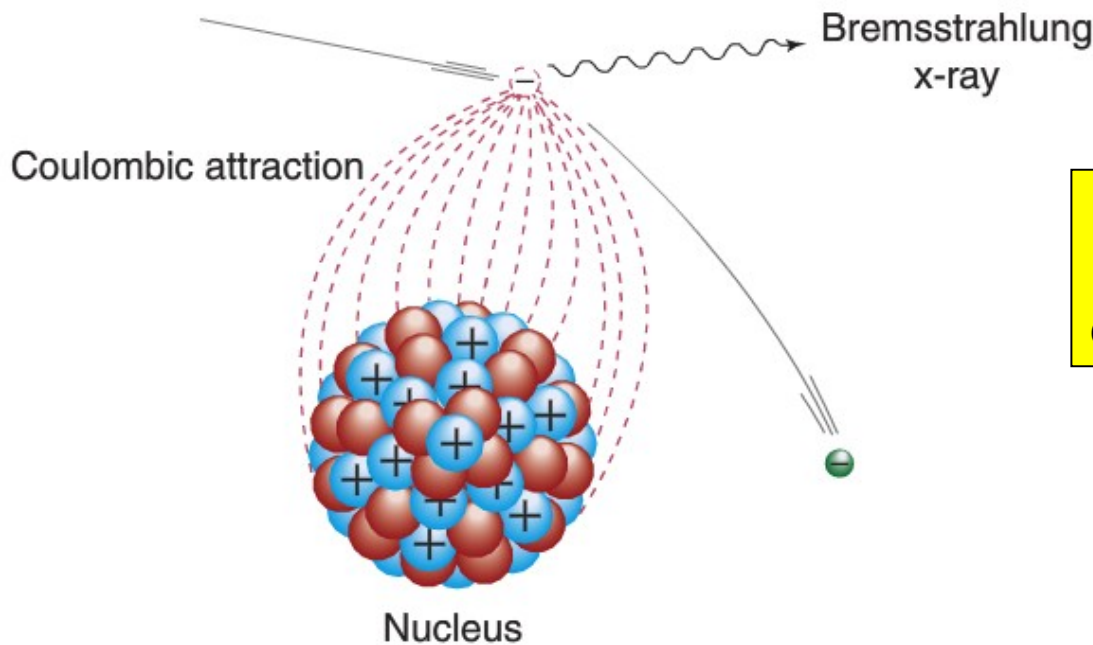
Transferencia de energía  
a electrones del átomo

*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)**

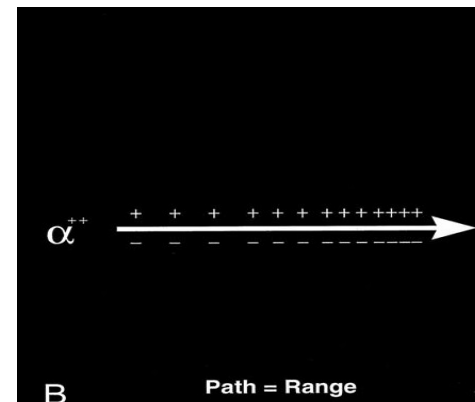
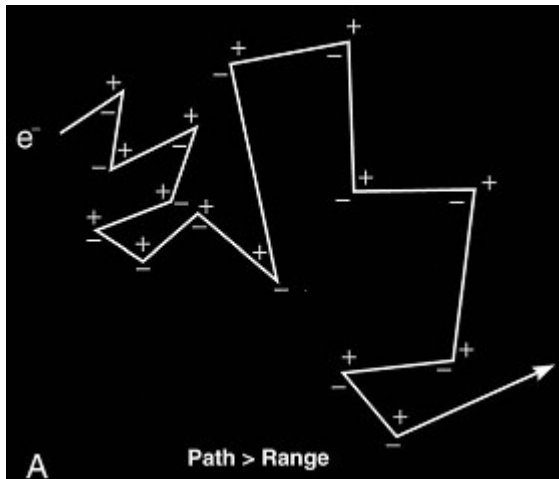


Proporcional a  $Z^2$  del medio  
Inversamente proporcional a  $m^2$   
de la partícula incidente

## 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  $\alpha$





La LET es:

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

|           | High<br>LET  | Low<br>LET   |                              |
|-----------|--|--|------------------------------|
| particles | $\left\{ \begin{array}{l} \alpha \\ p \end{array} \right.$ | $\left\{ \begin{array}{l} e- \\ \beta- \\ \beta+ \end{array} \right.$              | "electrons"                  |
|           |  | $\left\{ \begin{array}{l} \gamma \text{ ray} \\ x \text{ ray} \end{array} \right.$ | electromagnetic<br>radiation |

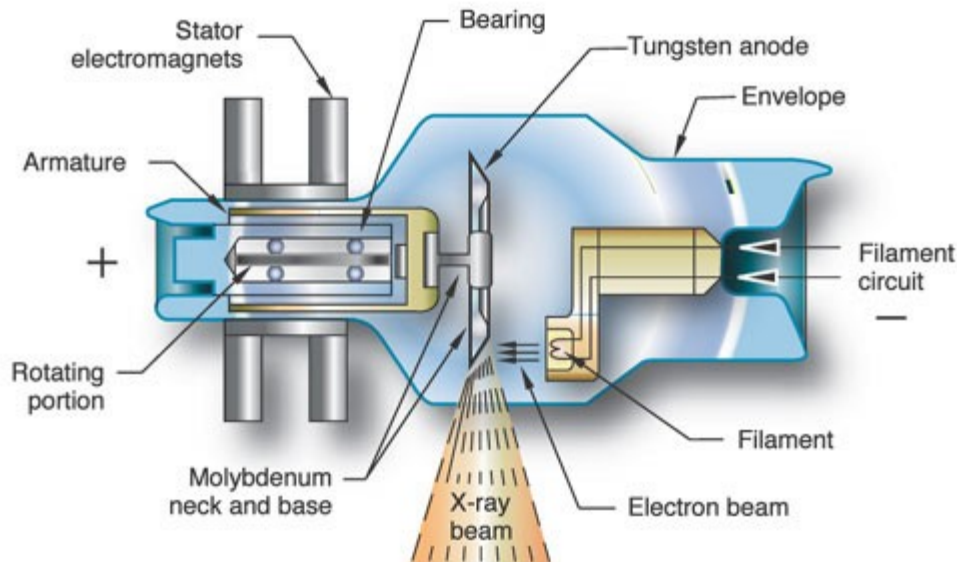
A mayor LET mayor probabilidad de daño

## Interacción de electrones en medios con Z altos

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

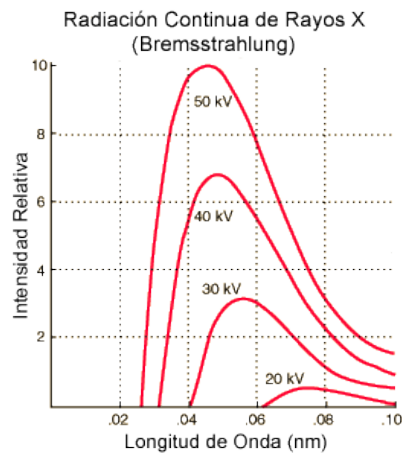
Esta radiación se consigue impactando e- sobre un material de alto Z (ánodo).

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

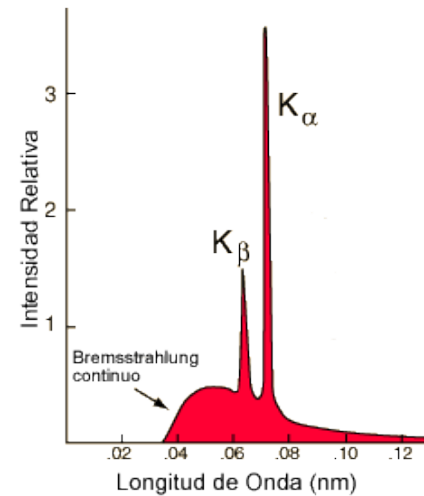


Solo el **1%** de la energía que transportan se transforma en rad. Electromagnética: **RX**:

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:  $E_{h\nu}$  como la energía de ligadura de los electrones del medio dispersor:  $E_L$

## Dispersión Rayleigh

$$E_{hv} \ll E_L$$

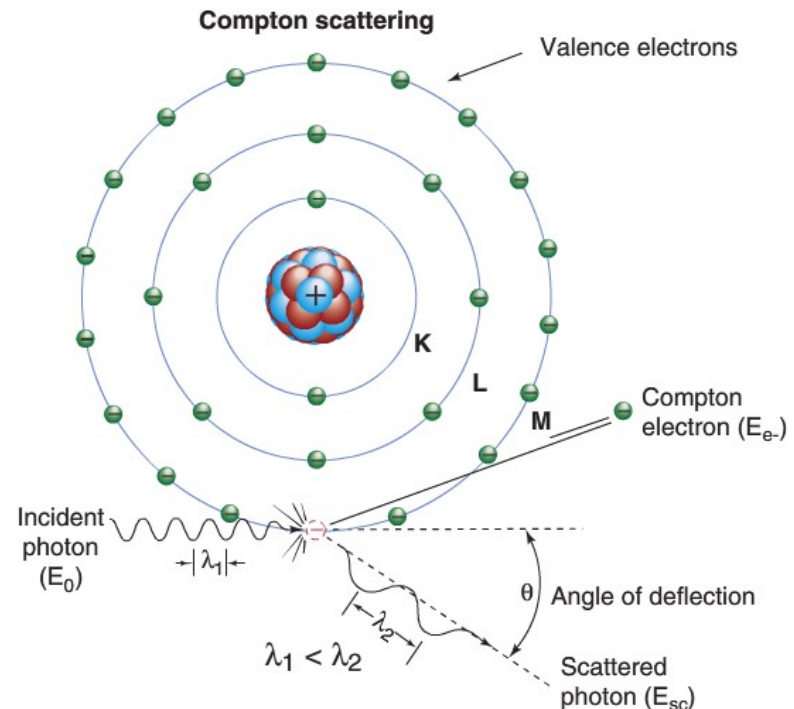
- El fotón incidente interacciona y excita el átomo en su conjunto.
- No se produce ionización ni pérdida de energía.
- Tiene lugar a energías bajas (15 a 30 keV), aumentando la probabilidad al disminuir la energía.
- El fotón es dispersado (re-emitido) en un rango de direcciones, próximas a la del fotón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

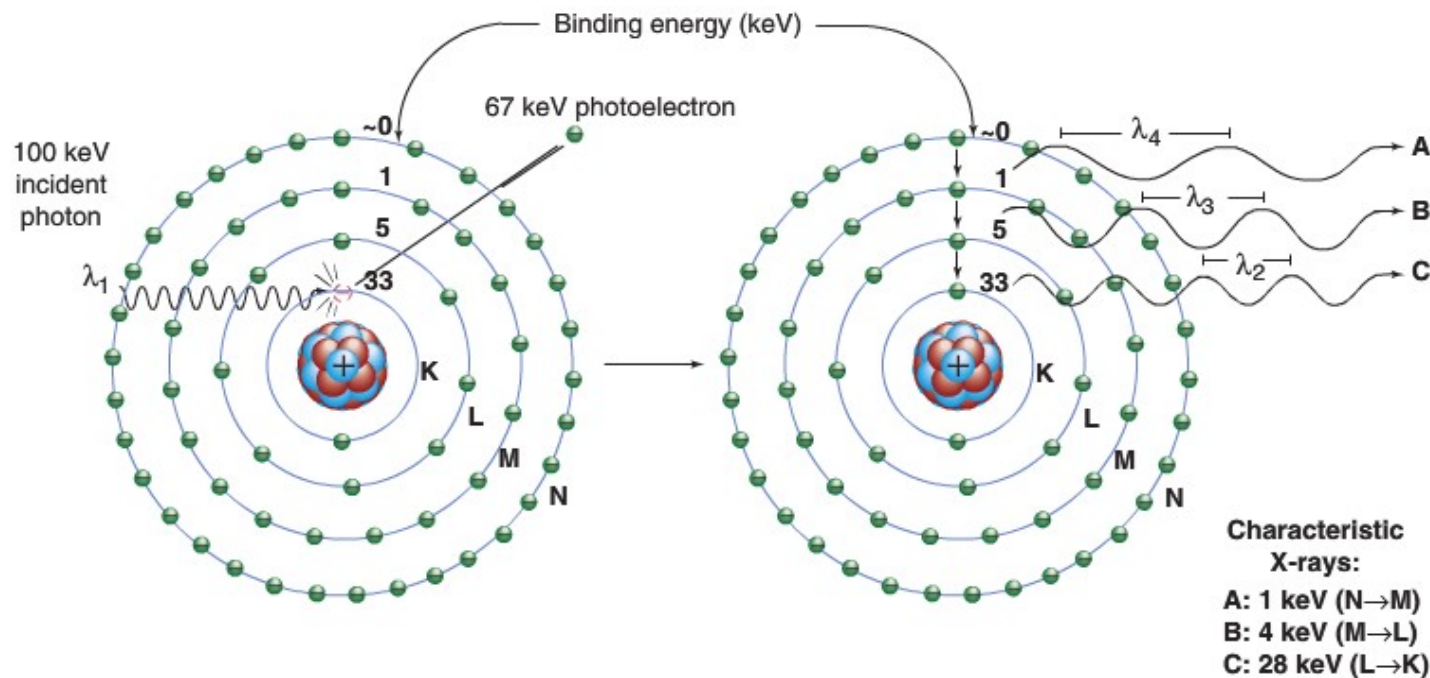
- $\downarrow$  cuando la energía de los fotones  $\uparrow$  (aproximadamente como  $1/E$ ).
- Aumenta al aumentar la densidad electrónica del medio ( $\sim \text{cte}$ ), por tanto:
  - Independiente de  $Z$  del blanco .
  - Proporcional a la densidad atómica del medio ( $\rho$ )

- Principal contribución a la radiación dispersa en diagnóstico.
- A mayor  $E_{\text{hv}}$  el ángulo  $\theta$  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 fotoelectrón y la emisión de radiación característica (y/o electrones Auger)
- Toda la energía del fotón incidente es transmitida al fotoelectrón.

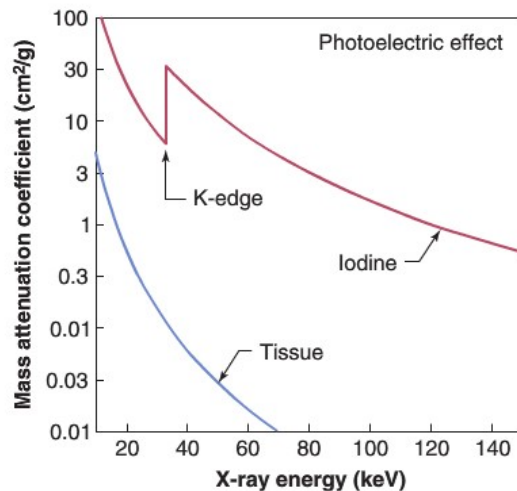




# Efecto fotoeléctrico

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

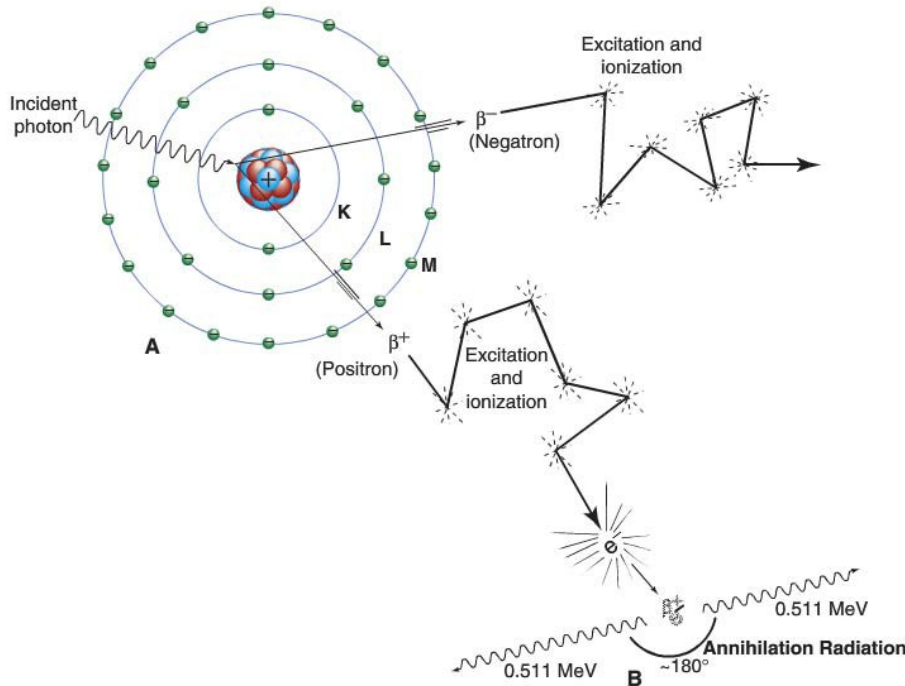
- Al aumentar la probabilidad de interacción aumentará el contraste.
- Explica (en parte) la disminución de contraste al aumentar la energía.
- Aumento de probabilidad a energías justo por encima de la energía de ligadura. Más significativo para elementos de Z elevado que para tejido.



| 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

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

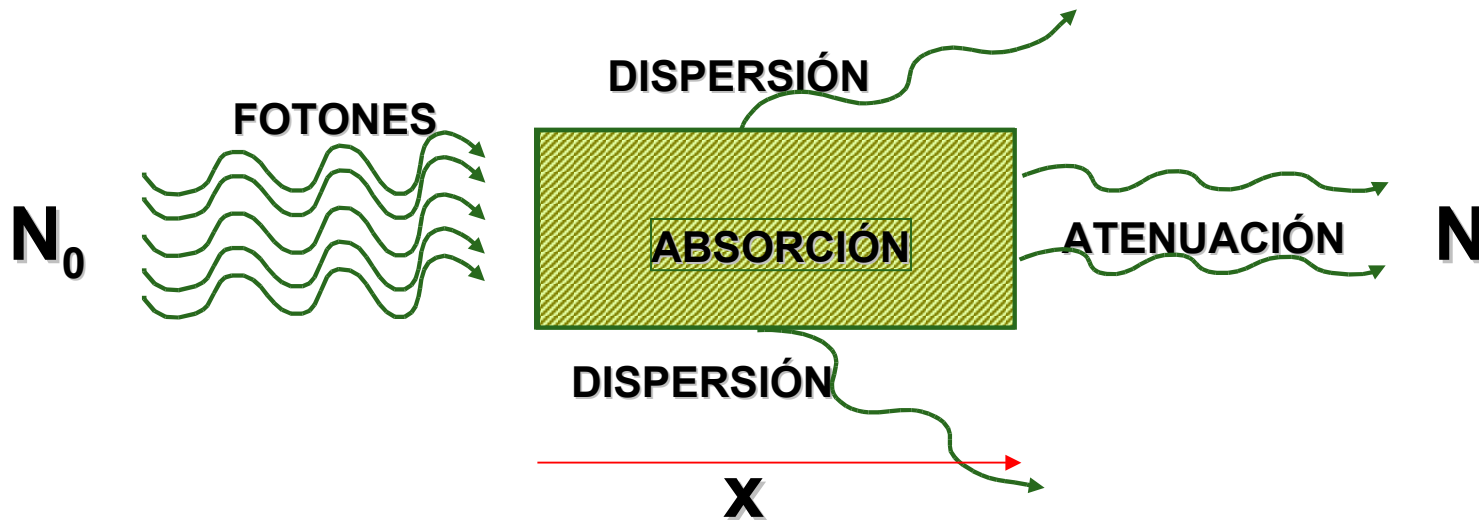


- Interacción de un fotón de energía superior a 1,022 MeV con un núcleo .
- Tiene como resultado un par electrón-positrón (pierden su energía vía ionizaciones-excitaciones)
- Una vez ha perdido su energía el positrón se aniquila con un electrón produciendo dos fotones de 511 keV.

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. ( $\propto Z^2$ )

## Macroscópicamente: atenuación de fotones



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

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

Fórmula válida si:

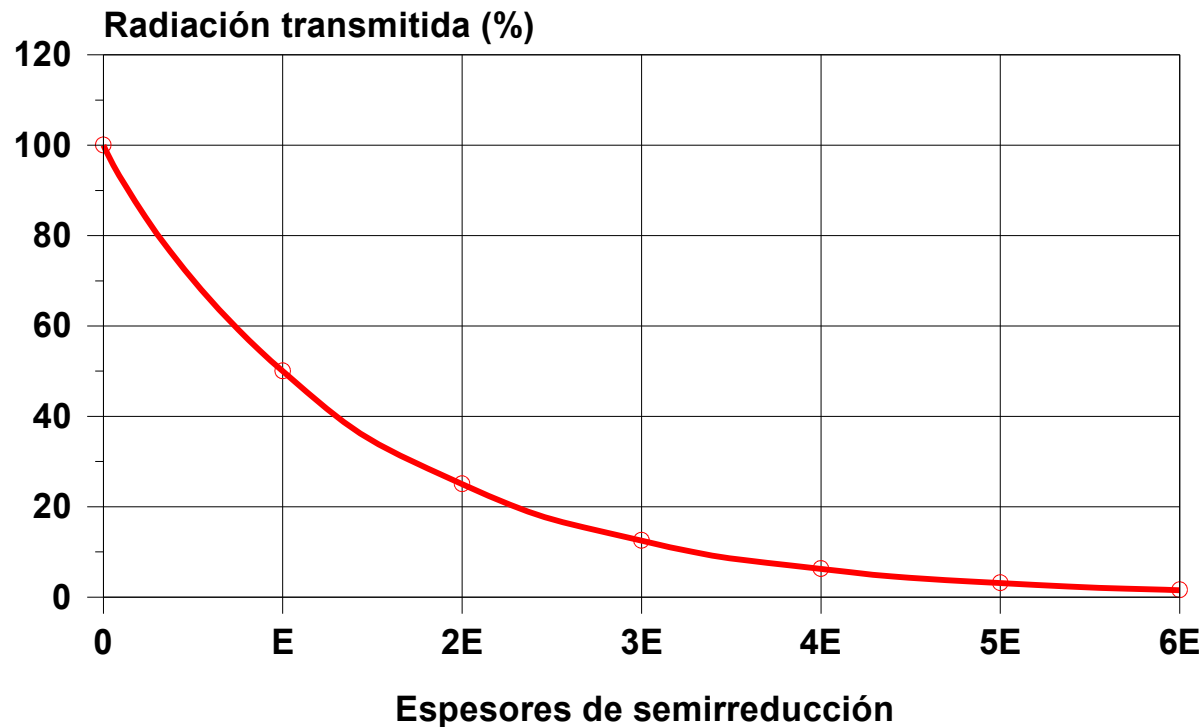
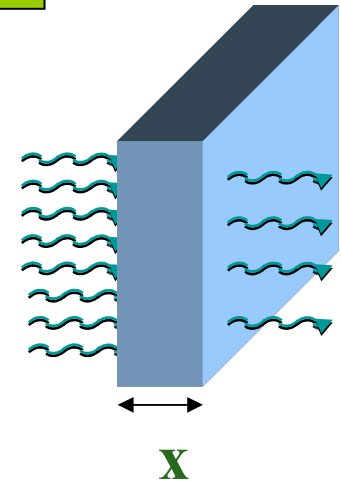
- Fotones monoenergéticos
- Haz colimado
- Absorbente delgado

## Macroscópicamente: atenuación de fotones

Coeficiente de atenuación másico:  $\mu_m = \mu/\rho$  (cm<sup>2</sup>/g)

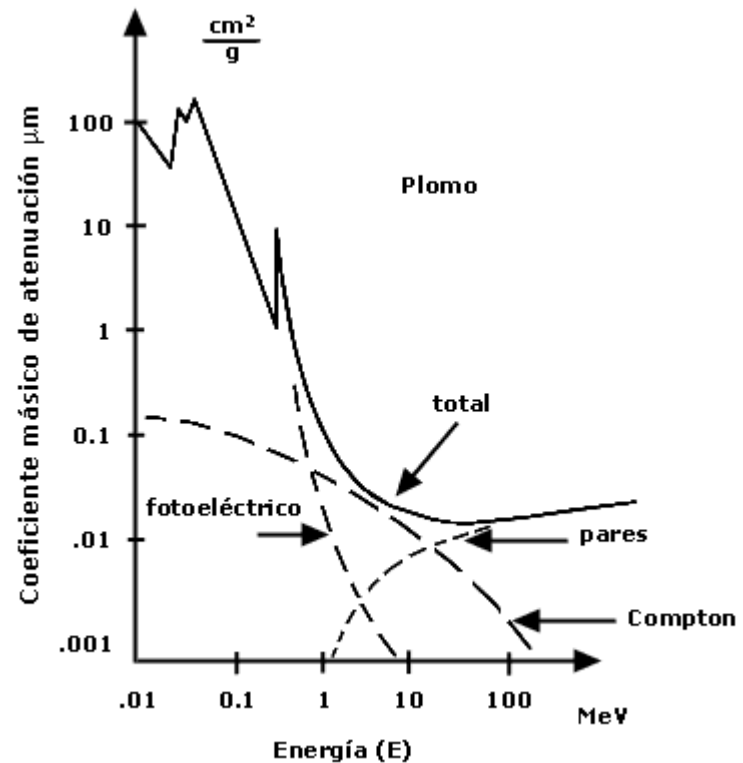
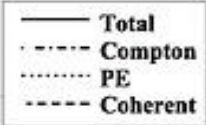
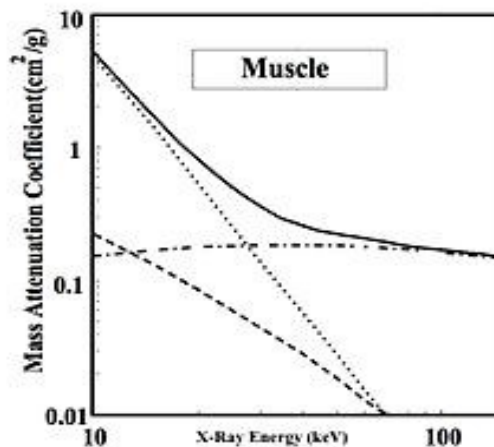
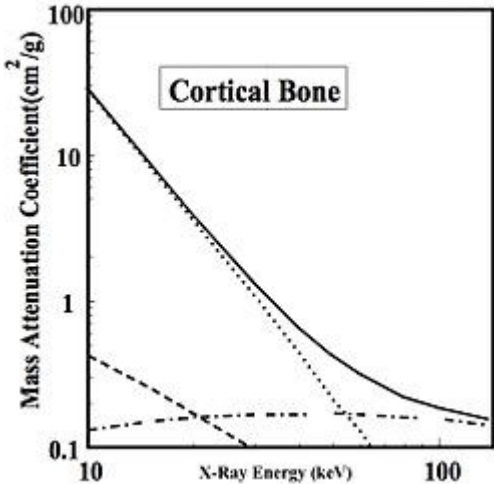
Ley de atenuación:  $N = N_0 e^{-\mu_m x_m}$

donde  $x_m = x \cdot \rho$



**Macroscópicamente: atenuación de fotones**

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





***Gracias por vuestra atención***

