



Campus de Formación
Multidisciplinaria

RADIOLOGÍA ORAL Y MAXILOFACIAL

Iván E. Pérez
Mg. Esp. Radiología Oral y Maxilofacial

SESIÓN 1

INTRODUCCIÓN Y PRINCIPIOS DE LA RADIOLOGÍA

Iván E. Pérez
Mg. Esp. Radiología Oral y Maxilofacial

¿QUÉ SON LOS RAYOS X?

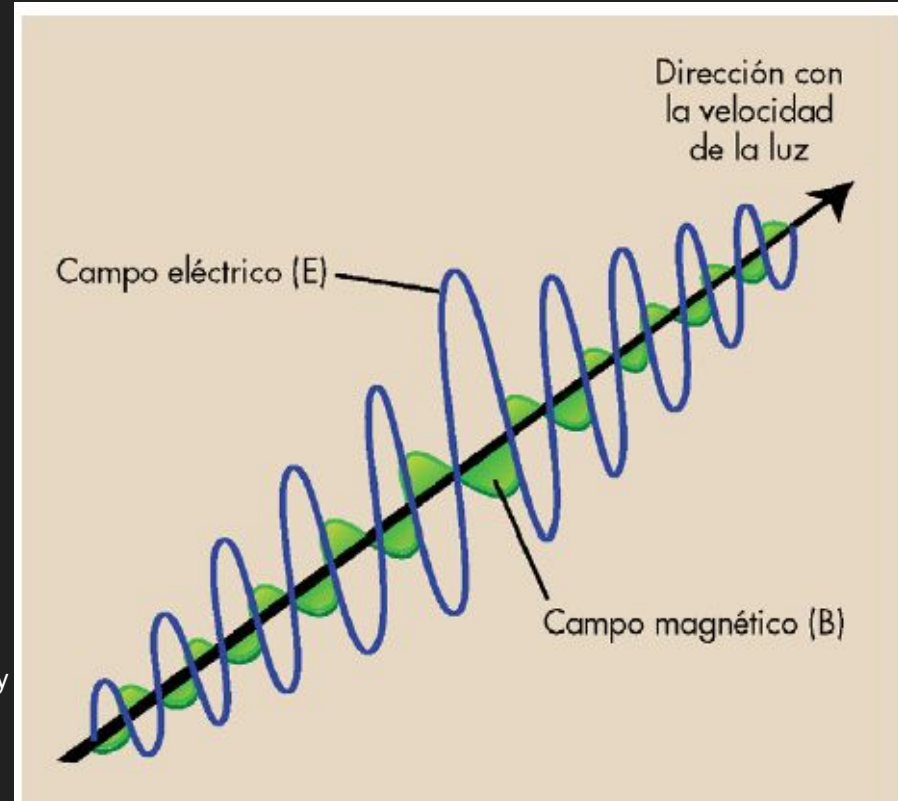
- Wilhelm Roentgen, 8-11-1895.
Universidad de Würzburg,
Alemania.
- Experimentando con un tubo de Crookes.



¿QUÉ SON LOS RAYOS X?

- **Fotones (energía electromagnética).**
- **Viaja a la velocidad de la luz.**
- **No tiene masa.**
- **Energía : $10^4 - 10^5$ eV**
- **Frecuencia : $10^{18} - 10^{20}$ Hz**
- **Longitud de onda : $10^{-10} - 10^{-11}$ m.**

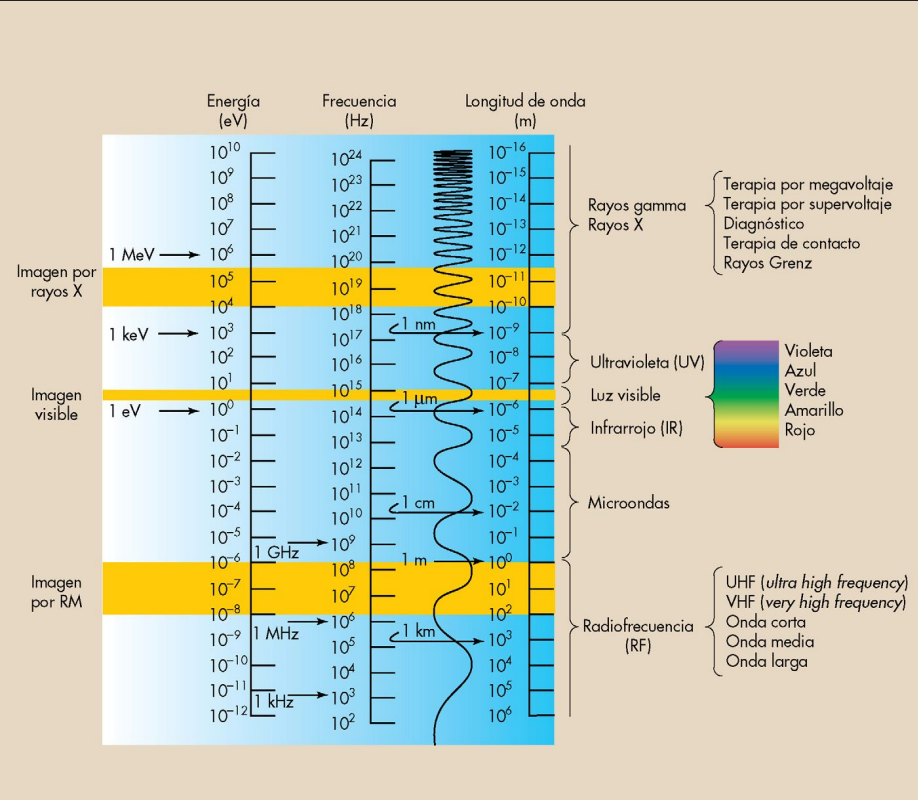
Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos: Física, biología y (10ª ed.). Elsevier.



¿QUÉ SON LOS RAYOS X?

- Fotones (energía electromagnética).
- Viaja a la velocidad de la luz.
- No tiene masa.
- **Energía : $10^4 - 10^5$ eV**
- **Frecuencia : $10^{18} - 10^{20}$ Hz**
- **Longitud de onda : $10^{-10} - 10^{-11}$ m.**

Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos: Física, biología (10ª ed.). Elsevier.



¿QUÉ SON LOS RAYOS X?

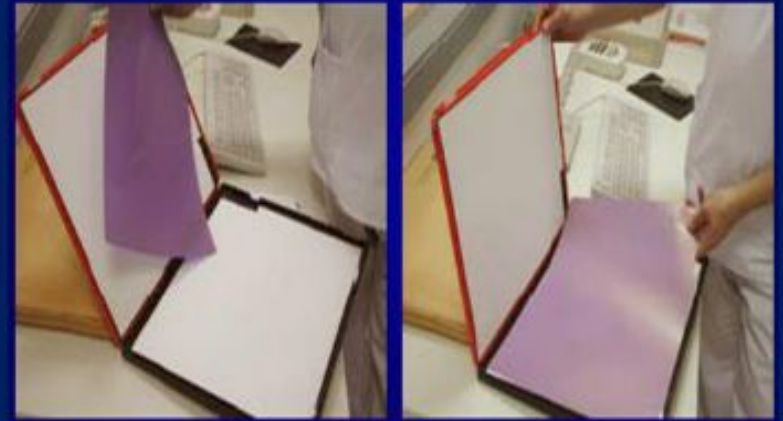
- Características:
 - **Capacidad de penetración.**
 - Efecto fotográfico.
 - Efecto fluorescente.
 - Ionización de átomos.
 - Efectos biológicos.



Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos: Física, biología y protección radiológica (10ª ed.). Elsevier.

¿QUÉ SON LOS RAYOS X?

- Características:
 - Capacidad de penetración.
 - **Efecto fotográfico.**
 - Efecto fluorescente.
 - Ionización de átomos.
 - Efectos biológicos.



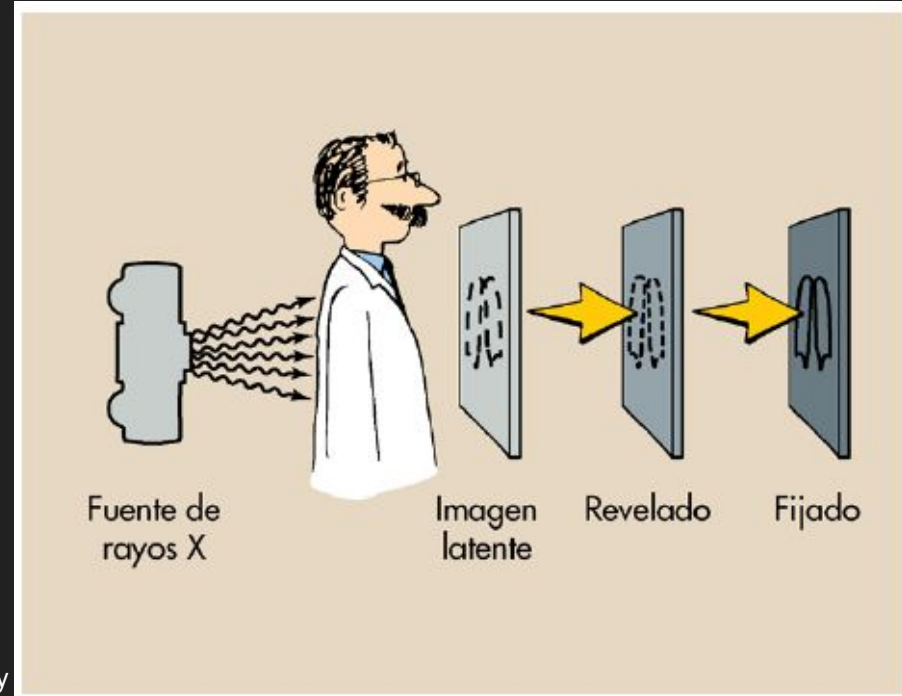
¿QUÉ SON LOS RAYOS X?

- Características:
 - Capacidad de penetración.
 - Efecto fotográfico.
 - **Efecto fluorescente.**
 - Ionización de átomos.
 - Efectos biológicos.



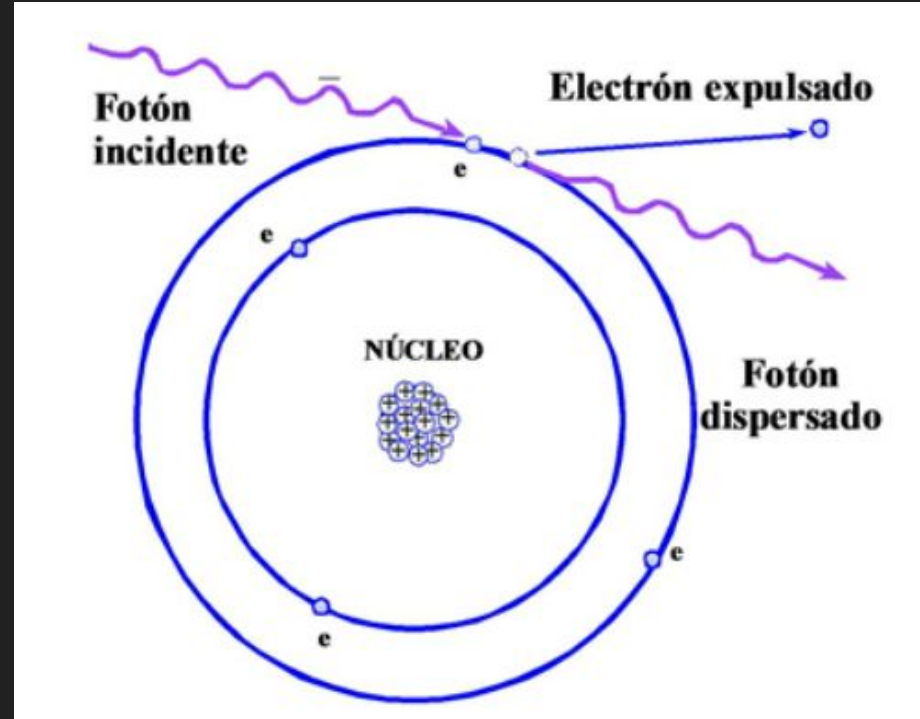
¿QUÉ SON LOS RAYOS X?

- Características:
 - **Capacidad de penetración.**
 - **Efecto fotográfico.**
 - **Efecto fluorescente.**
 - Ionización de átomos.
 - Efectos biológicos.



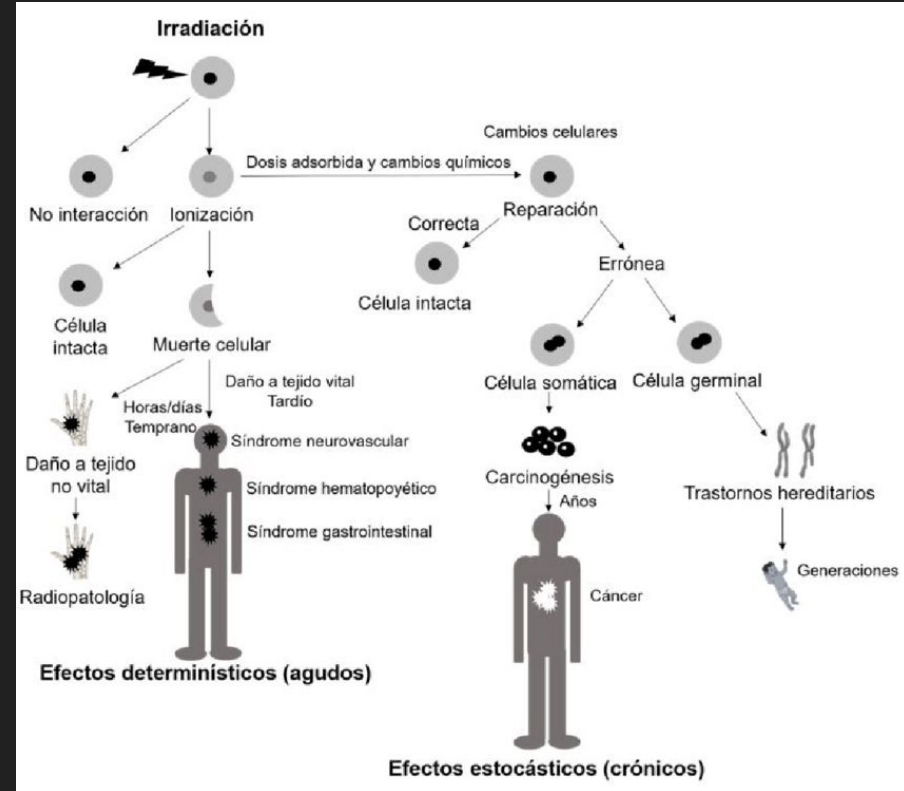
¿QUÉ SON LOS RAYOS X?

- Características:
 - Capacidad de penetración.
 - Efecto fotográfico.
 - Efecto fluorescente.
 - **Ionización de átomos.**
 - Efectos biológicos.



¿QUÉ SON LOS RAYOS X?

- Características:
 - Capacidad de penetración.
 - Efecto fotográfico.
 - Efecto fluorescente.
 - Ionización de átomos.
 - **Efectos biológicos.**



¿QUÉ SON LOS RAYOS X?

TABLA 4-1

Parte del amplio intervalo de rayos X producido para aplicación en medicina, investigación e industria

Tipo de rayos X	Energía aproximada	Aplicación
Difracción	<10kVp	Investigación: análisis estructural y molecular
Rayos Grenz*	10-20kVp	Medicina: dermatología
Superficial	50-100kVp	Medicina: terapia de tejidos superficiales
→ Diagnóstico ←	30-150kVp	Medicina: imágenes de estructuras anatómicas y tejidos
Ortovoltaje*	200-300kVp	Medicina: terapia de tejidos internos
Supervoltaje*	300-1.000kVp	Medicina: terapia de tejidos internos
Megavoltaje	>1 MV	Medicina: terapia de tejidos internos Industria: control de integridad de metales soldados

*Estas modalidades de terapia por radiación no se aplican actualmente.

¿QUE SE NECESITA PARA PRODUCIR RAYOS X?

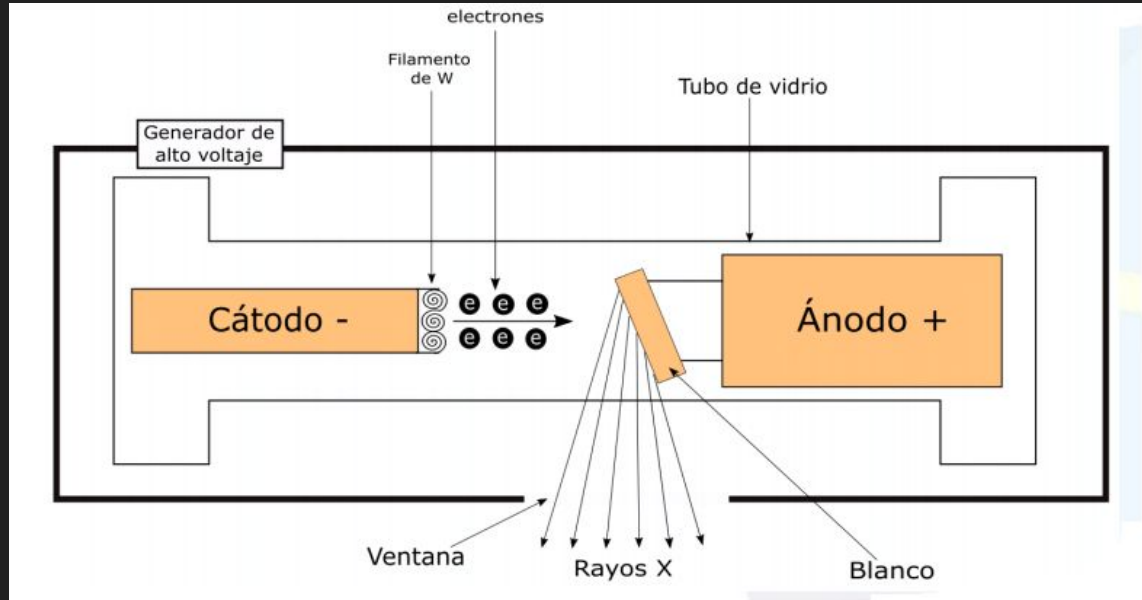
Fenómenos violentos y muy energéticos: restos de explosiones de supernovas, agujeros negros acretaando materia, estrellas (neutrones, normales, enanas rojas) y muchos objetos exóticos más. Todos tienen en común que su material está muy caliente, a varios millones de grados de temperatura.



[El universo en rayos-X](#)

<https://images.app.goo.gl/bb4X8oUr9un4dgnY9>

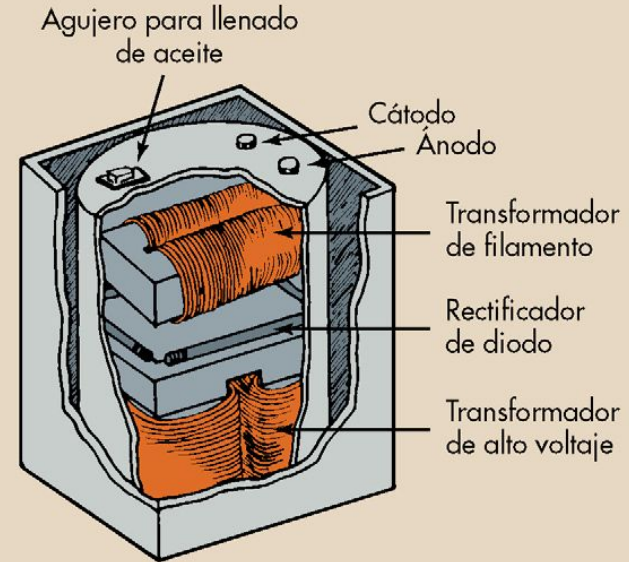
¿QUE SE NECESITA PARA PRODUCIR RAYOS X?



<https://images.app.goo.gl/KRDDG367HR3rmgF86>

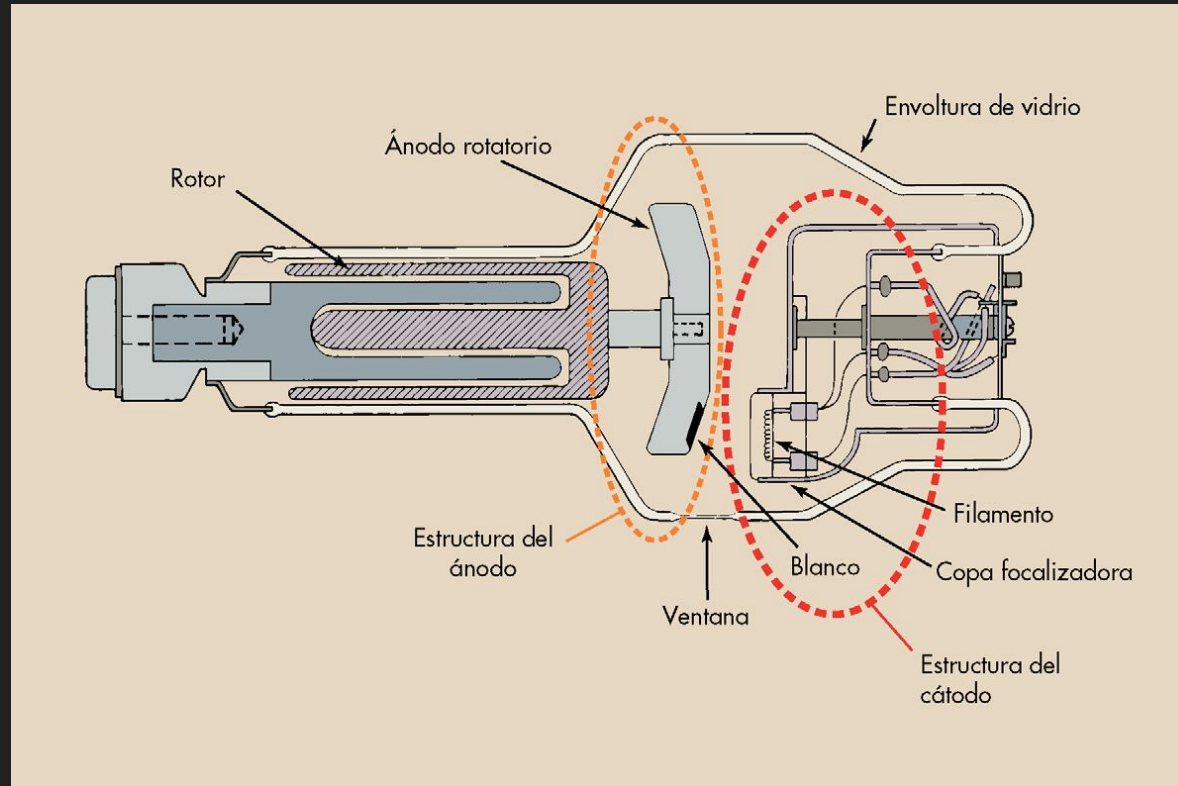
¿QUE SE NECESITA PARA PRODUCIR RAYOS X?

- Establecer una diferencia de voltaje en el orden de KILOVOLTIOS (kVp).
- Elevar el voltaje de 110 - 220 V hasta un rango de 65-70-120 kVp.
- Disminuir el amperaje de 10 A al rango de 7-10-12 mA.



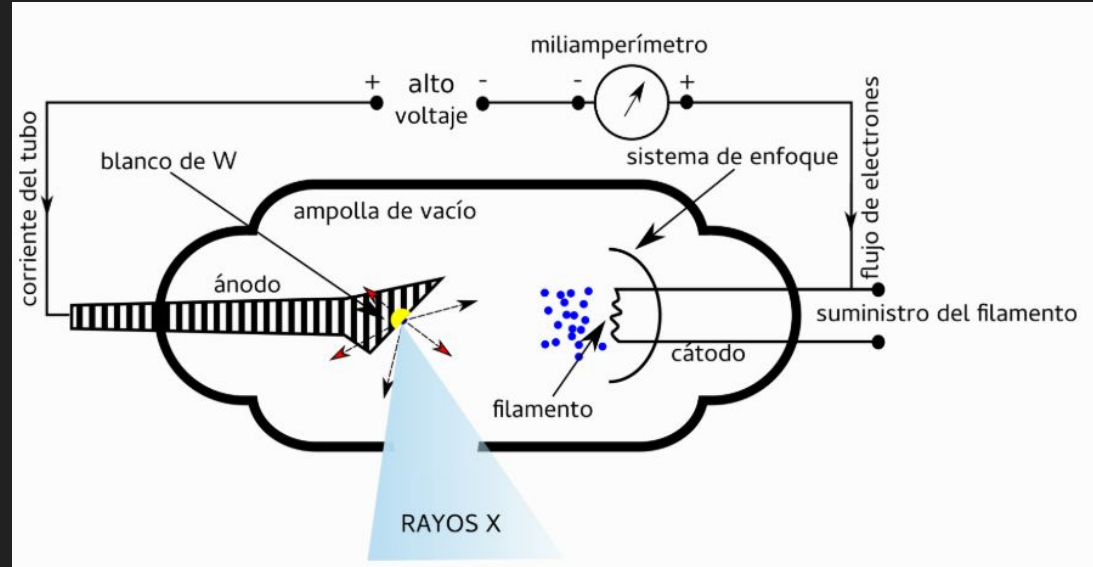
<https://images.app.goo.gl/Je2auRBeqrayfeVAA>

¿QUE SE NECESITA PARA PRODUCIR RAYOS X?



PARTES DEL CABEZAL

- Ampolla de vidrio al vacío.
- Cátodo / filamento.
- Ánodo (fijo o rotatorio).
- Punto focal.
- Ventana.
- Filtración de aluminio.



PARTES DEL CABEZAL

- Ampolla de vidrio al vacío electrónico.
- Hecho de cristal Pyrex para resistir el calor generado.
- Puede soportar más de 150 kV.

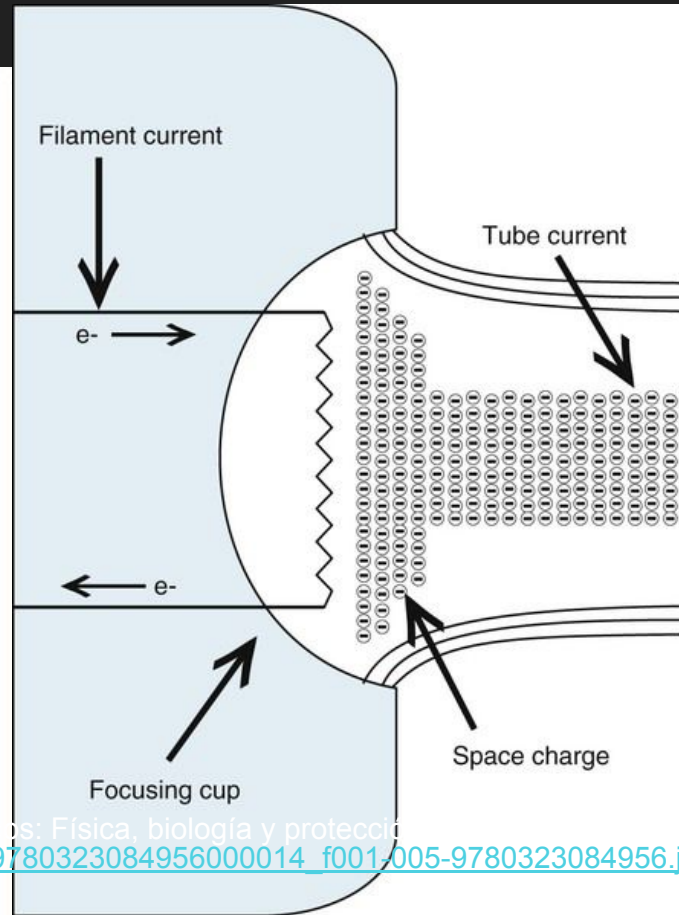


<https://images.app.goo.gl/wEBac7SuFsqc6Qf37>

PARTES DEL CABEZAL

Filamento/cátodo.

- Emite electrones (emisión termoiónica).
- Tungsteno
 - 3410° fusión
 - Resistente a la vaporización.
- 2 mm. diámetro / 1-2 cm. de largo.
- $\approx 2200^{\circ}\text{C}$

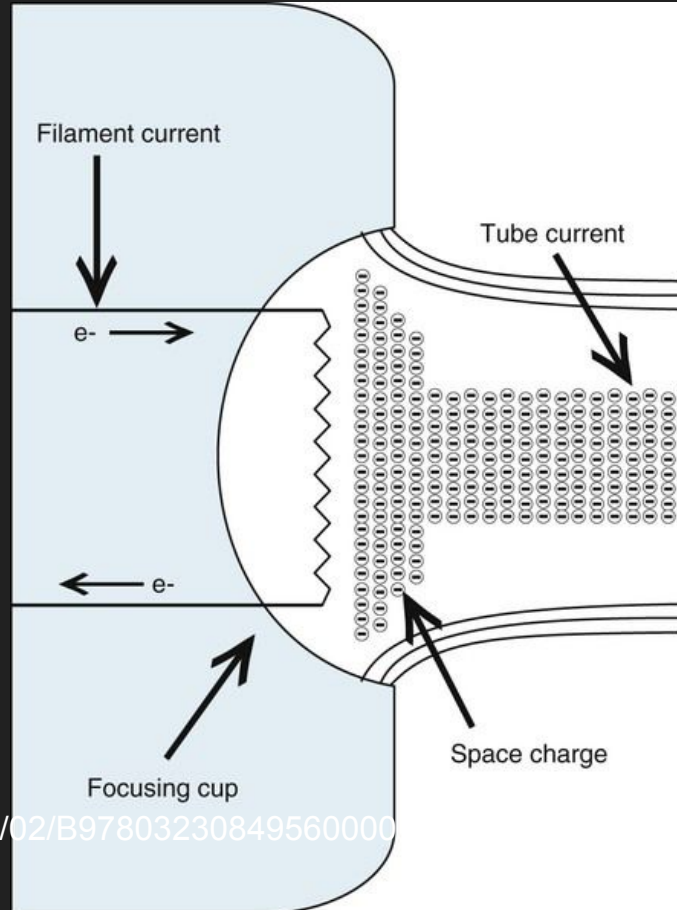


Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos: Física, biología y protección radiológica. Elsevier.
https://radiologykey.com/wp-content/uploads/2016/02/B9780323084956000014_f001-005-9780323084956.jpg
Primer of Diagnostic Imaging (Fifth Edition), Mosby, 2011

PARTES DEL CABEZAL

Filamento/cátodo.

- Emisión termoiónica - mA.
- Aceleración - kVp (% velocidad de la luz)



PARTES DEL CABEZAL

✓ Resultados aproximados:

kVp	Energía (keV)	Velocidad (% c)
70	70 keV	≈ 47.4 %
80	80 keV	≈ 50.4 %
90	90 keV	≈ 52.9 %
100	100 keV	≈ 55.1 %

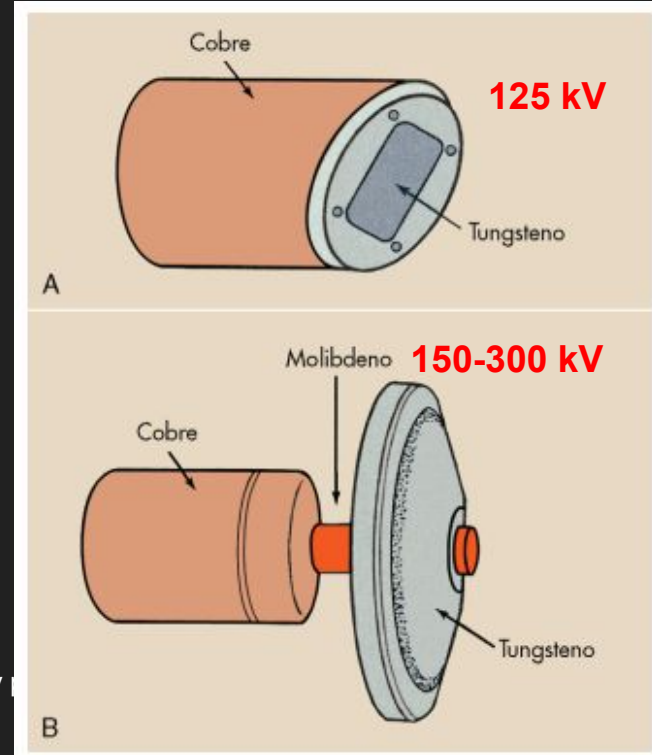
Información generada con asistencia de ChatGPT y revisada por el autor.

PARTES DEL CABEZAL

Ánodo (+)

- Tungsteno* - “Blanco”
- Rotatorio ó estacionario.
- Conductor eléctrico.
- Disipador térmico (99%).
- Alto Z (74)

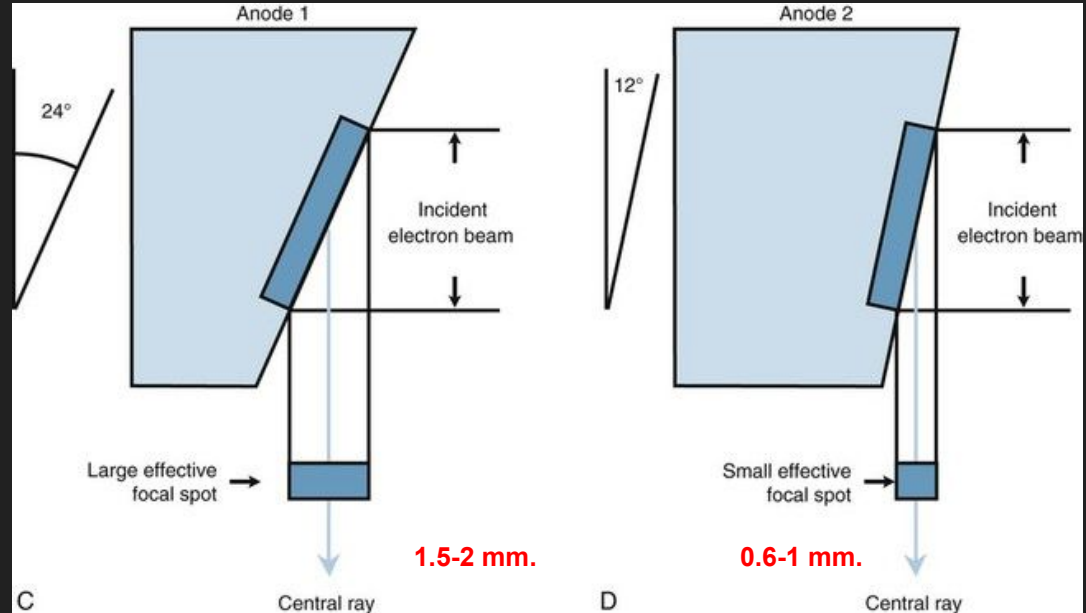
Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos: Física, biología y (10ª ed.). Elsevier.



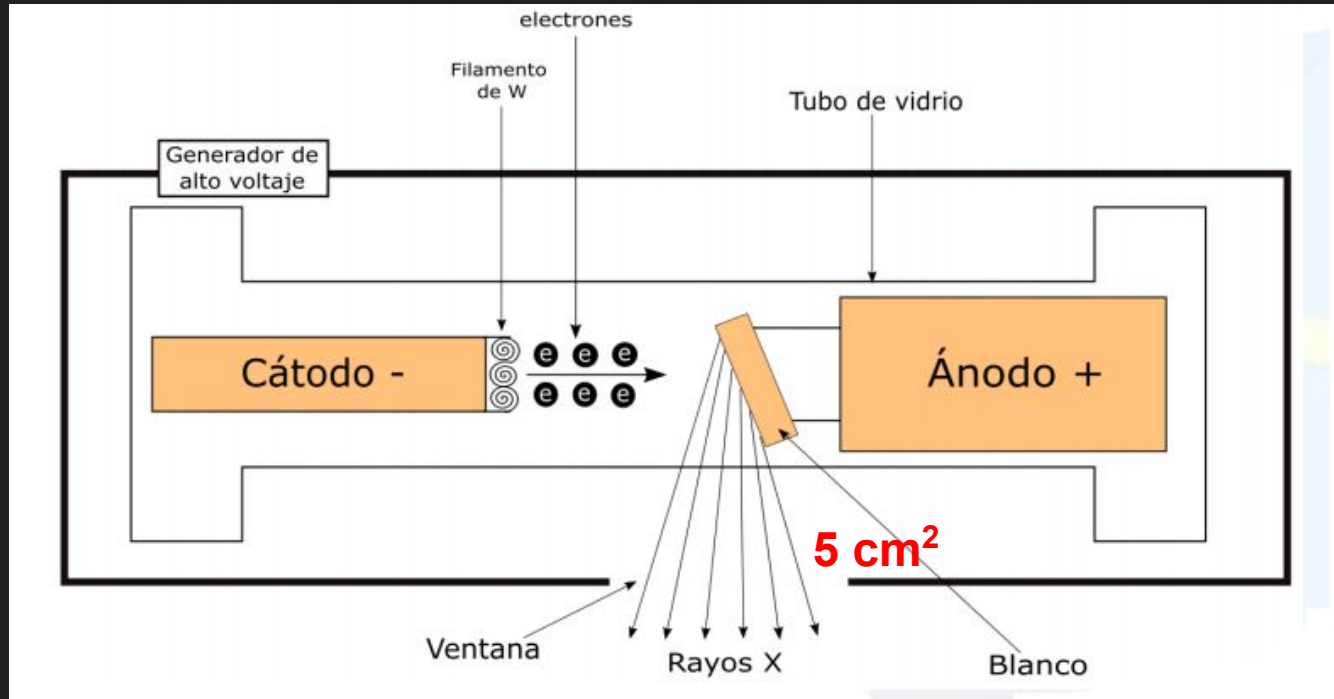
PARTES DEL CABEZAL

Ánodo (+)

- Punto focal.
 - Menor tamaño/mayor resolución.
 - Mayor calentamiento.
 - Angulación del blanco.



PARTES DEL CABEZAL



PARTES DEL CABEZAL

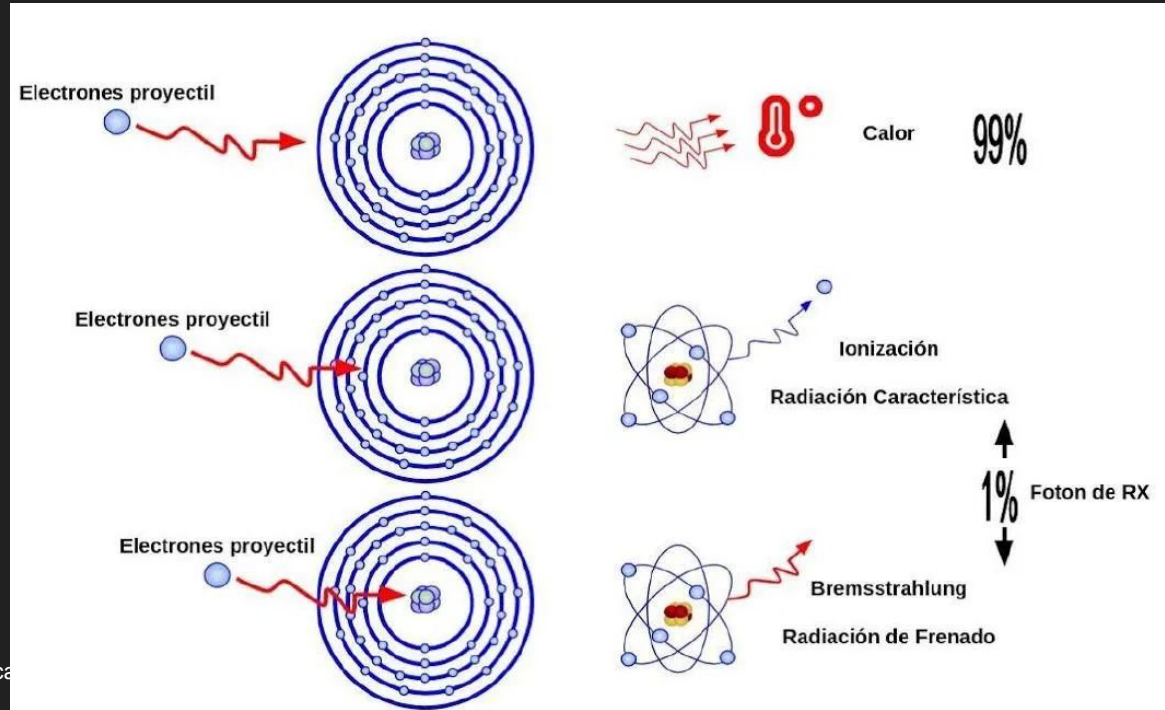
Resumen:

Etapa	Energía involucrada	Resultado
Calentamiento del filamento	Corriente (mA)	Nube de electrones
Aceleración de electrones	Diferencia de potencial (kVp)	Electrones ganan velocidad
Impacto en el ánodo	Energía cinética de electrones	Producción de rayos X

Información generada con asistencia de ChatGPT y revisada por el autor.

FORMACIÓN DE RAYOS X

1. Calor anódico.
2. Radiación característica.
3. Efecto *Bremsstrahlung*.

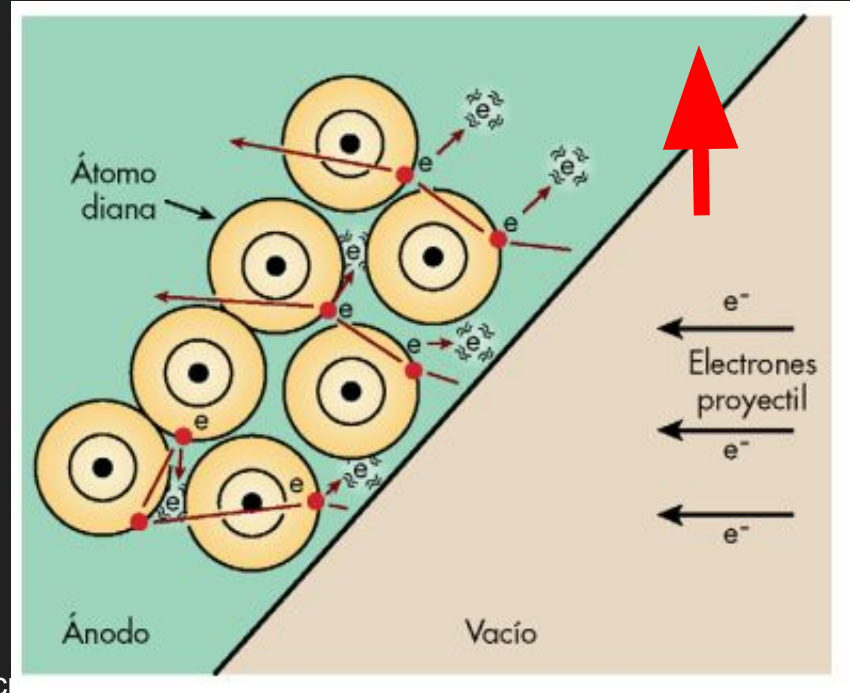


Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos: Física

<https://images.app.goo.gl/gZYfhSzYHpE9n3i66>

FORMACIÓN DE RAYOS X - CALOR ANÓDICO

- Capa externa.
- Emisión radiación infrarroja.
- Depende del mA.



Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos de radiología y protección radiológica (10ª ed.). Elsevier.

FORMACIÓN DE RAYOS X - CALOR ANÓDICO

Calor anódico.

$$\textbf{ENERGÍA (J) = kV x mA x Tiempo (s)}$$

Para 90 kV y 20 segundos de exposición.

- 8 mA: $90 \times 8 \times 20 = 14400 \text{ J}$
- 10 mA: $90 \times 10 \times 20 = 18000 \text{ J}$ (Incremento 25%)
- 12 mA: $90 \times 12 \times 20 = 21600 \text{ J}$ (Incremento 50%)

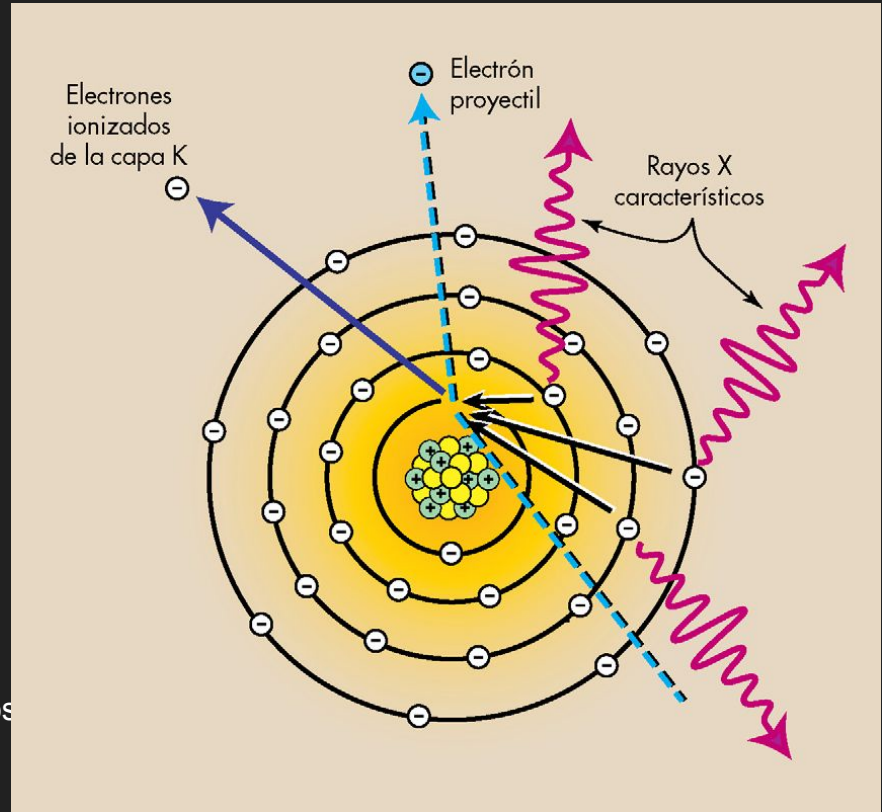
Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos: Física, biología y protección radiológica (10ª ed.). Elsevier.

FORMACIÓN DE RAYOS X - R. CARACTERÍSTICA

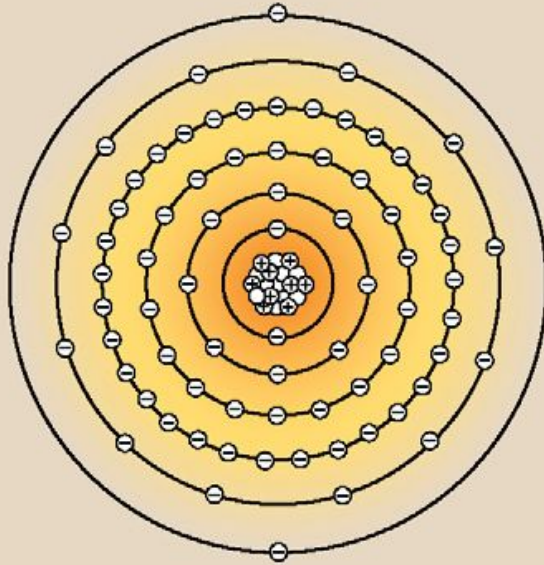
Radiación característica.

Cuando un electrón de la capa externa ocupa un hueco de la capa interna (K).

Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos protección radiológica (10ª ed.). Elsevier.



FORMACIÓN DE RAYOS X - R. CARACTERÍSTICA



Tungsteno: $^{184}_{74}\text{W}$

Capa	Número de electrones	Energía de unión de aproximada (keV)
K	2	69
L	8	12
M	18	3
N	32	1
O	12	0,1
P	2	

Capa electrónica	Energía de enlace (keV)
K	69.5
L	12.1
M	2.8
N	0.6
O	0.1
P	~0.01
K α (L $\rightarrow$ K)	59.3
K β (M $\rightarrow$ K)	67.2

FORMACIÓN DE RAYOS X - R. CARACTERÍSTICA

TABLA 8-1

Rayos X característicos del tungsteno y sus energías de enlace efectivas (keV)

TRANSICIÓN ELECTRÓNICA DESDE LA CAPA

Característica	Capa L	Capa M	Capa N	Capa O	Capa P	Energía efectiva de los rayos X
K	57,4	66,7	68,9	69,4	69,5	69
L		9,3	11,5	12,0	12,1	12
M			2,2	2,7	2,8	3
N				0,52	0,6	0,6
O					0,08	0,1

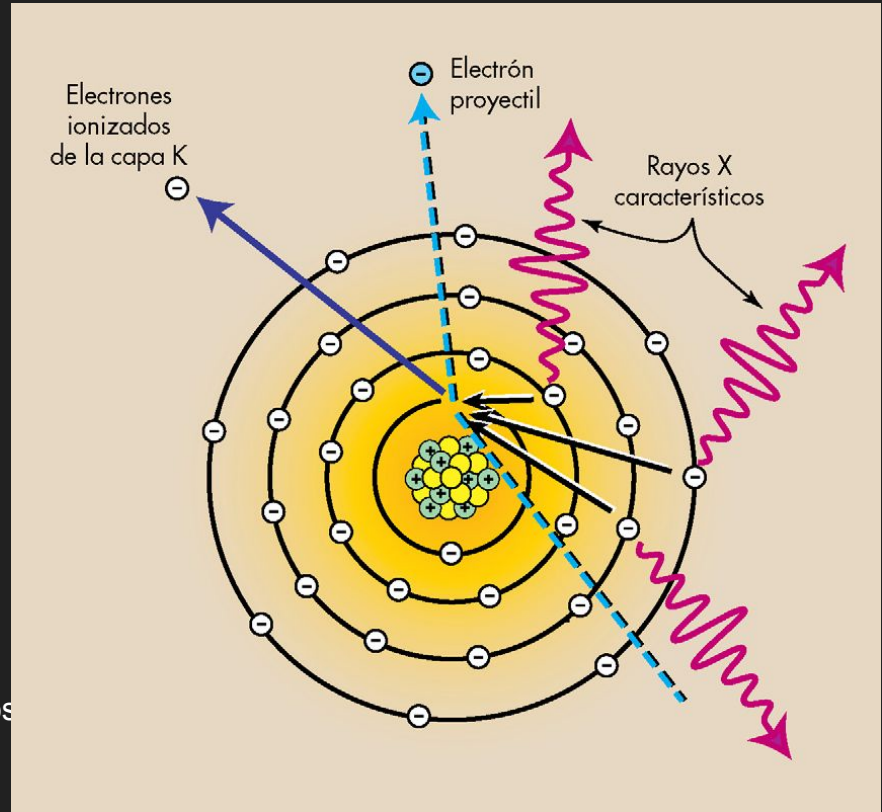
Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos: Física, biología y protección radiológica (10ª ed.). Elsevier.

FORMACIÓN DE RAYOS X - R. CARACTERÍSTICA

Radiación característica.

- Energía del electrón.
- Energía del rayo X.
- Valores constantes.

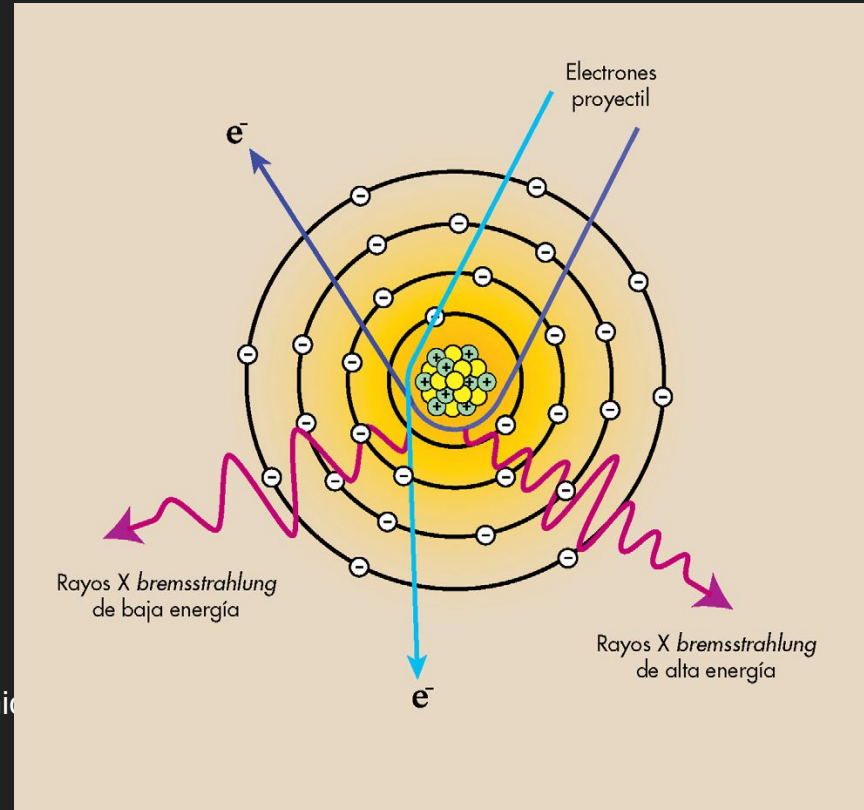
Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos protección radiológica (10ª ed.). Elsevier.



FORMACIÓN DE RAYOS X - *BREMSSTRAHLUNG*

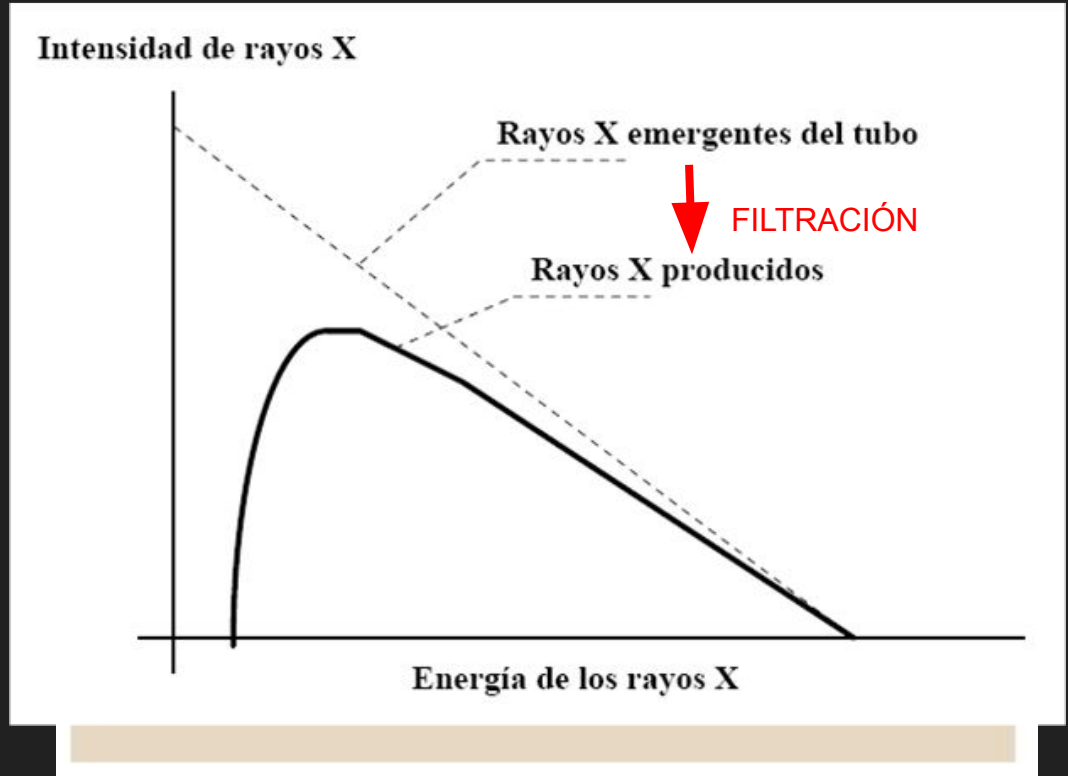
- Campo eléctrico nuclear.
- Pérdida de energía cinética.
- Deflexión - Detención.
- Emisión de fotón de rayos X.
- El límite es el valor de kVp.

Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos de radiología y protección radiológica (10ª ed.). Elsevier.



FORMACIÓN DE RAYOS X - *BREMSSTRAHLUNG*

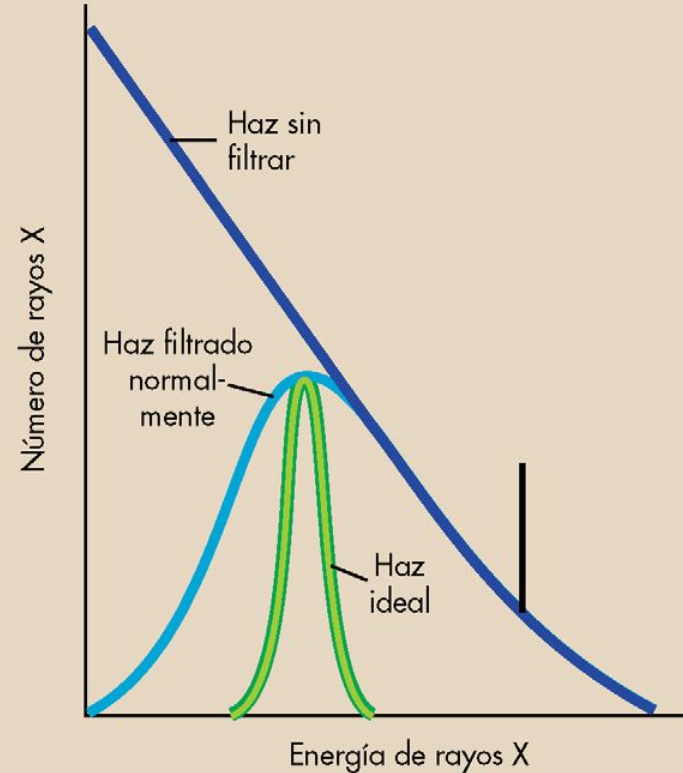
- Energía cinética.
- Velocidad menor a la de la luz (40-50%).
- Se genera un espectro de emisión de energía variable entre +0 a x Kv.



FILTRACIÓN

- Absorber los rayos X de menor energía.
- Incrementa la energía promedio de los rayos X.
- F. Inherente.
- F. Añadida

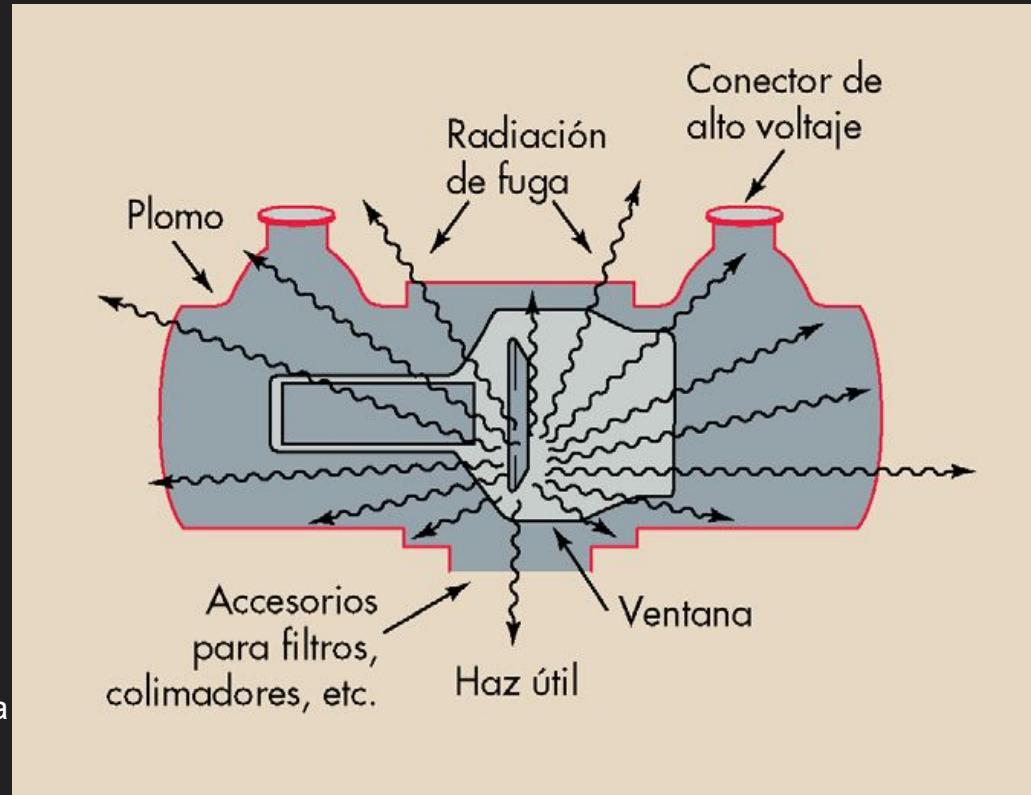
Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos protección radiológica (10ª ed.). Elsevier.



FILTRACIÓN INHERENTE

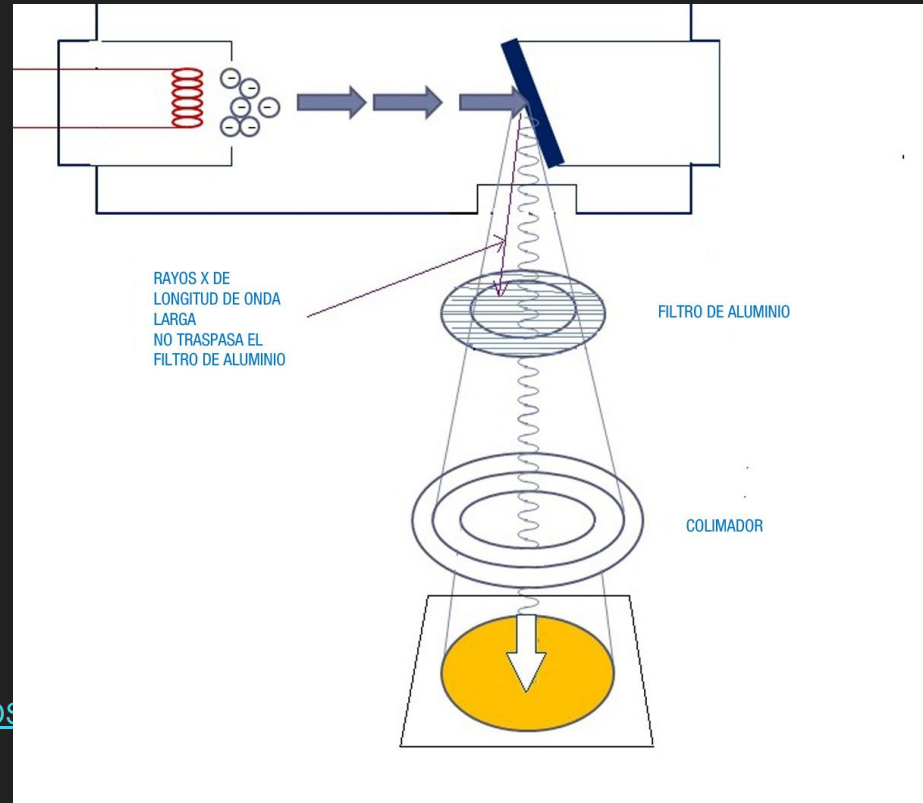
- Ampolla de vidrio.
- Aceite.
- Carcasa.
- $< 20 \text{ KeV} / 0.5 - 1 \text{ mm Al}$

Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para protección radiológica (10ª ed.). Elsevier.

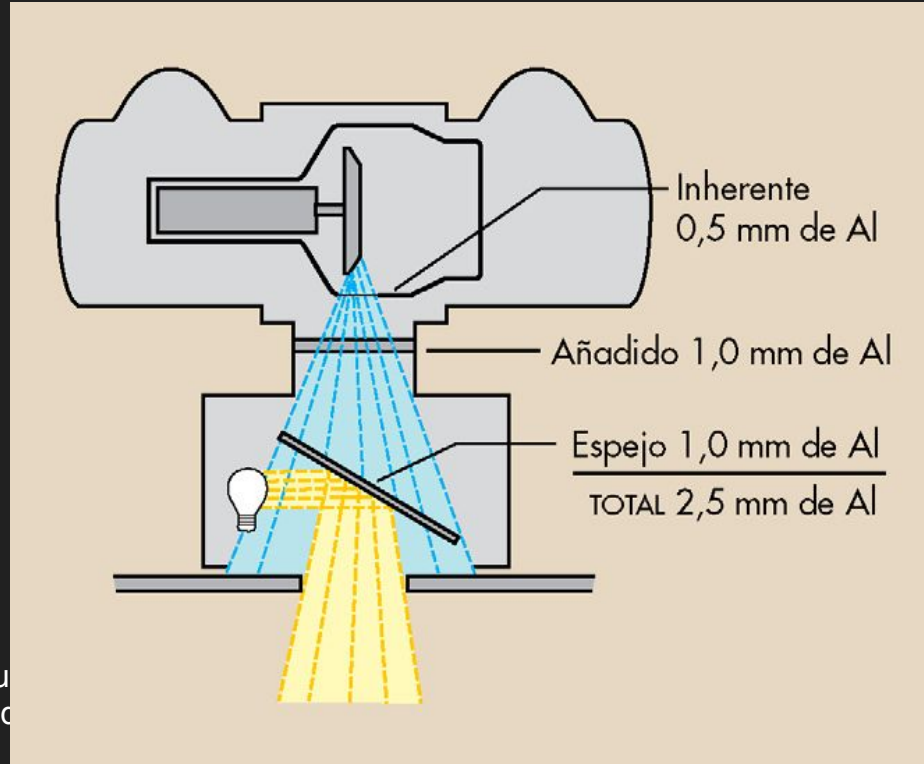


FILTRACIÓN AÑADIDA

- Filtros adicionales (Al, Cu).
- A la salida del haz.



FILTRACIÓN TOTAL

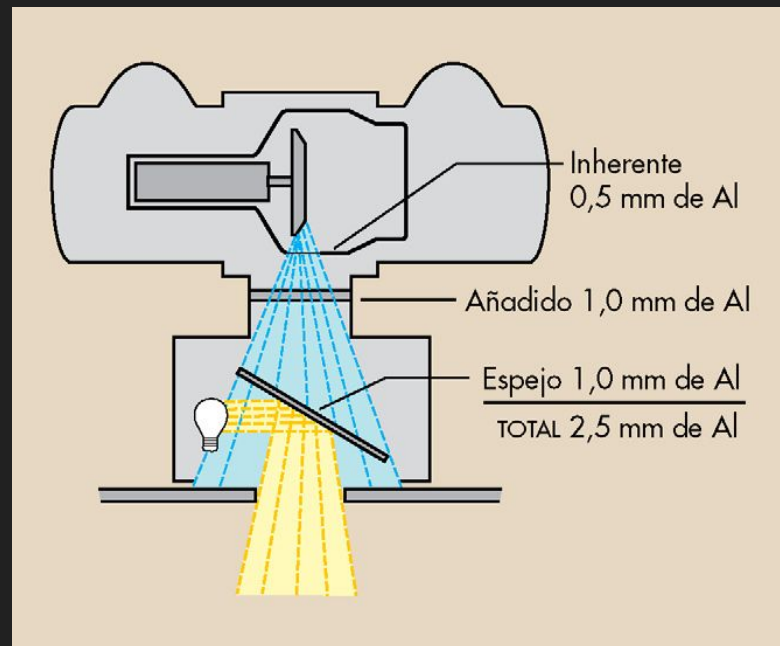


Bushong, S. C. (2013). Manual de protección radiológica (10ª ed.)

FILTRACIÓN TOTAL

Relación entre kVp y mmAl equivalente (filtración total mínima)

kVp (kilovoltaje pico)	Filtración total mínima (mmAl equivalente)	Justificación / Fuente
≤ 50 kVp	0.5 mm Al	Recomendado para equipos portátiles, radiografía pediátrica
51 – 70 kVp	1.5 mm Al	Mínimo requerido en odontología intraoral
71 – 100 kVp	2.5 mm Al	Estándar para diagnóstico general y CBCT
101 – 150 kVp	3.0 mm Al	Recomendado para tomografía médica, fluoroscopia
> 150 kVp	≥ 3.0 mm Al o filtración compensadora adicional	Especialidades como radioterapia o angiografía



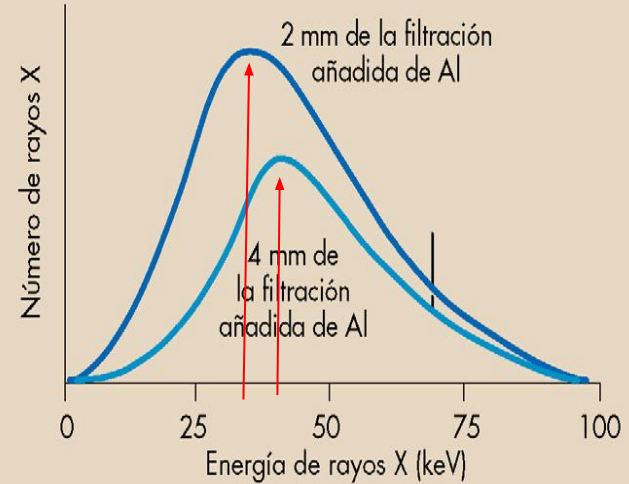
Información generada con asistencia de ChatGPT y revisada por el autor
Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos: Física, biología y protección radiológica (10ª ed.). Elsevier.

FILTRACIÓN TOTAL



Interpretación clínica / física general

Parámetro	2 mm Al	4 mm Al	Interpretación
Energía promedio	Menor (~40–50 keV)	Mayor (~60–70 keV)	Aumenta la capacidad de penetración
Cantidad de fotones	Mayor	Menor	Se eliminan fotones ineficaces
Dosis al paciente	Mayor	Menor	Se evita radiación innecesaria
Contraste de imagen	Mayor	Menor	Rayos más duros = menor contraste
Ruido / calidad	Menor ruido	Posible aumento del ruido si no se ajusta el mAs	Se requiere compensación con tiempo o corriente



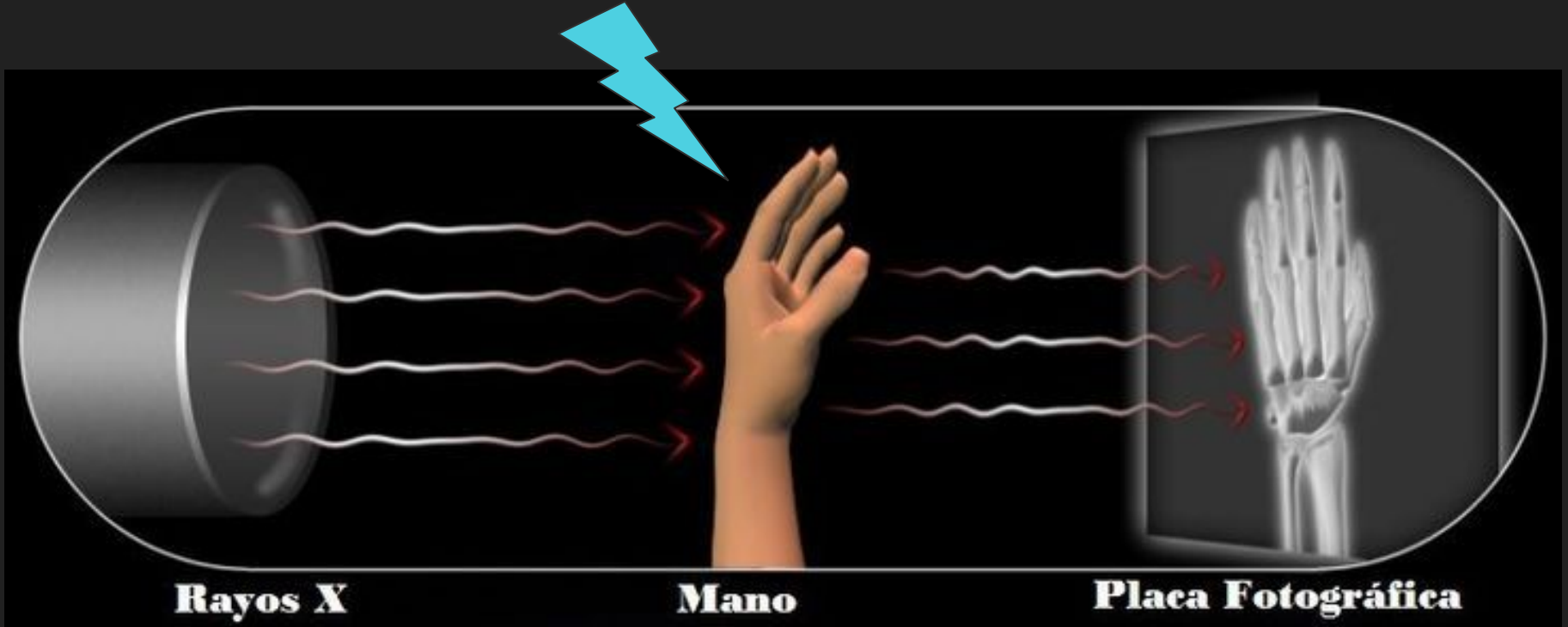
Información generada con asistencia de ChatGPT y revisada por el autor.
Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos: Física, biología y protección radiológica (10ª ed.). Elsevier.

FILTRACIÓN TOTAL

 **Tabla: Relación entre kVp, Filtrado (mmAl) y Energía Promedio (keV)**

kVp	Filtrado total (mmAl)	Energía promedio estimada (keV)	% respecto a kVp
70	1.0	~20	~29%
70	1.5	~23	~33%
70	2.0	~26	~37%
70	2.5	~28	~40%
70	3.0	~30	~43%
80	2.5	~32	~40%
90	2.5	~36	~40%
100	3.0	~42	~42%
120	3.0	~50	~42%
140	3.0	~60	~43%
150	4.0	~66	~44%

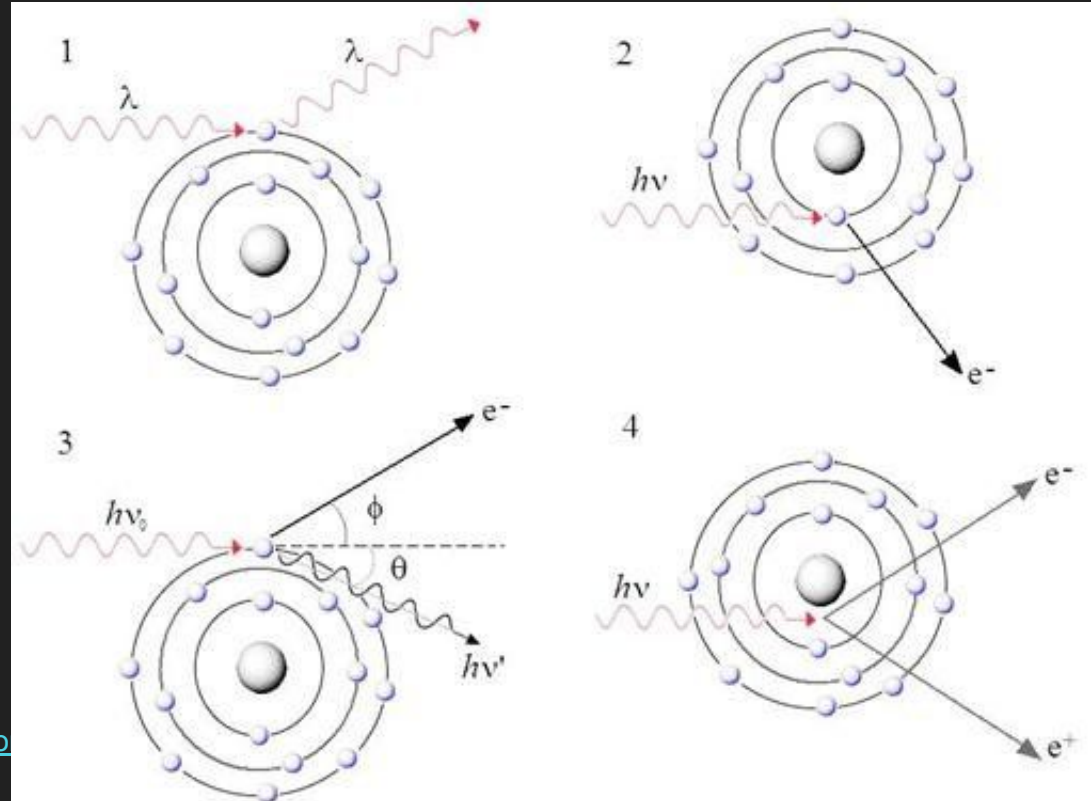
Información generada con



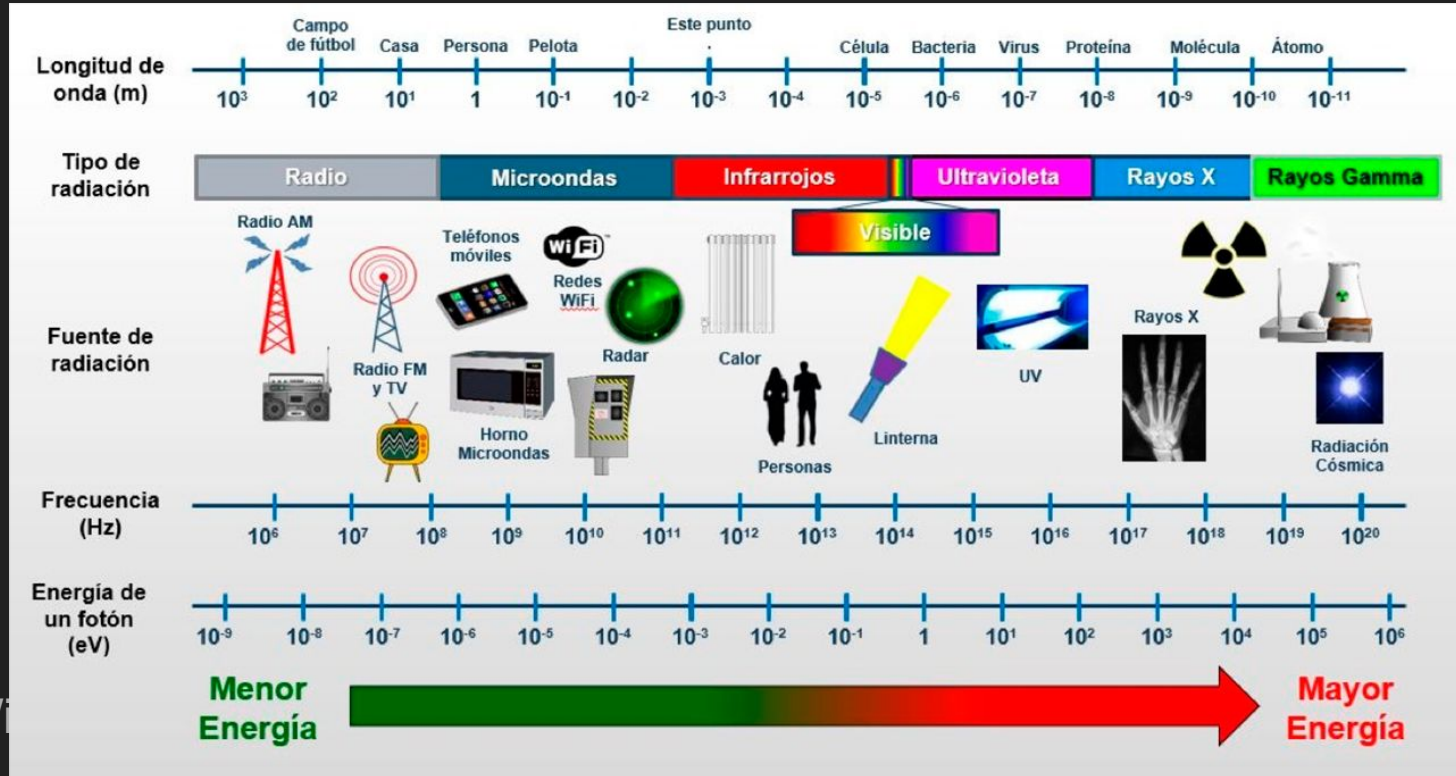
<https://images.app.goo.gl/mU7avEGsQJPGteabA>

INTERACCIÓN DE LOS RAYOS X CON LA MATERIA

- 10^{-8} a 10^{-9} m.
- Interacción a nivel de átomos, electrones y núcleos.

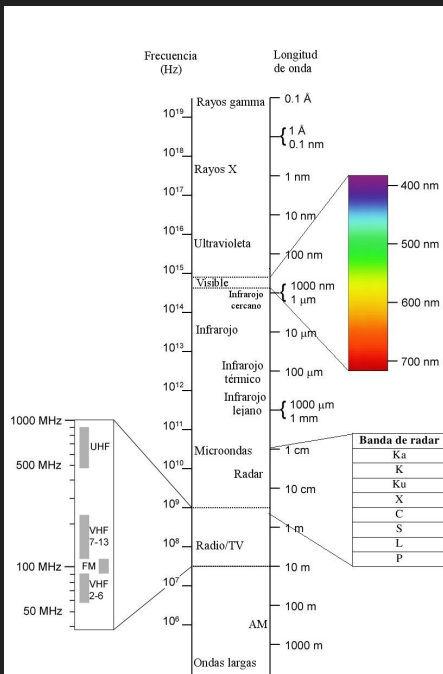


INTERACCIÓN DE LOS RAYOS X CON LA MATERIA



https://t.me/interaccion_de_los_rayos_x_con_la_materia

INTERACCIÓN DE LOS RAYOS X CON LA MATERIA



 **Tabla resumen: Interacción del fotón con la materia**

 Efecto	 Energía (eV)	 Longitud de onda (nm)	 Consecuencia principal
Efecto térmico	$E < 1 \times 10^0$	$\lambda > 1.24 \times 10^3$	Aumento de temperatura (infrarrojo, microondas)
Excitación sin ionización	$1 \times 10^0 \leq E \leq 1 \times 10^1$	$1.24 \times 10^2 \leq \lambda \leq 1.24 \times 10^3$	Excitación electrónica (visible, UV-A, UV-B)
Ionización atómica	$E \geq 1.36 \times 10^1$	$\lambda \leq 9.12 \times 10^1$	Pérdida de electrones (UV-C, rayos X suaves)
Fotoeléctrico / Compton (X)	$1 \times 10^2 \leq E \leq 1 \times 10^5$	$1.24 \times 10^{-2} \leq \lambda \leq 1.24 \times 10^1$	Imagen médica, daño al ADN
Producción de pares / Gamma	$E > 1 \times 10^6$	$\lambda < 1.24 \times 10^{-3}$	Interacción nuclear, efectos relativistas

Información generada con asistencia de ChatGPT y revisada por el autor.
<https://sl.bing.net/dp6LzThnrFs>

DISPERSIÓN COHERENTE

- Fotón - Átomo.
- Cambio en la dirección.
- Igual longitud de onda.
- < 10 keV

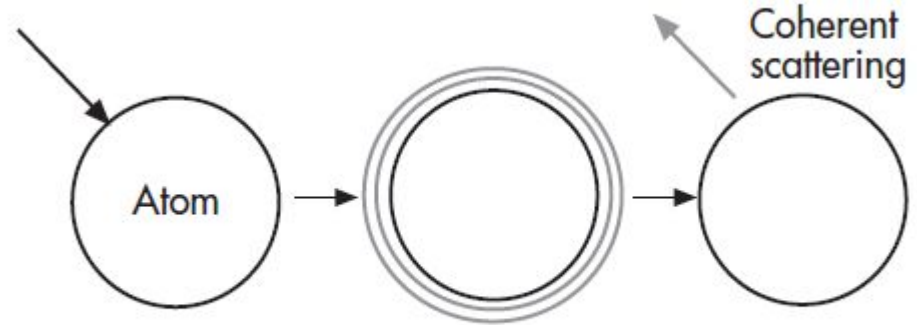


FIGURE 14-14



$$\lambda = \lambda'$$

Rayos X
dispersados

Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos de radiología y protección radiológica (10ª ed.). Elsevier.

DISPERSIÓN COHERENTE

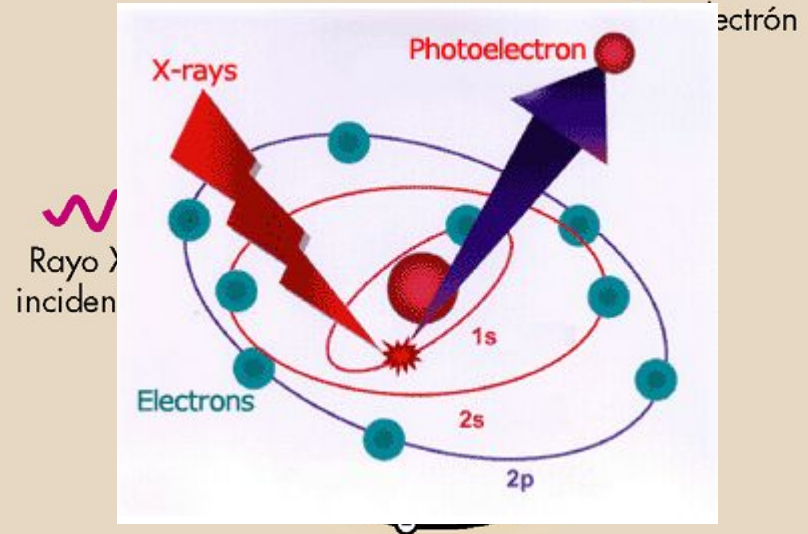
Probabilidad relativa de dispersión coherente (Rayleigh) a diferentes kVp

(valores aproximados, dependen del número atómico del material y filtrado del haz)

kVp	Probabilidad de dispersión coherente	Comparación con otros efectos
70	~1% o menos	Dominan Compton (~90%) y algo de efecto fotoeléctrico (~9%)
80	<1%	Compton aún más dominante
90	<1%	La dispersión coherente sigue disminuyendo

EFECTO FOTOELÉCTRICO

- Foton / Capa K.
- Fotoelectrón.
- Seguido de radiación característica.



Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos: Física y protección radiológica (10ª ed.). Elsevier.
<https://images.app.goo.gl/HD8KcrRjUbqZwhjX7>

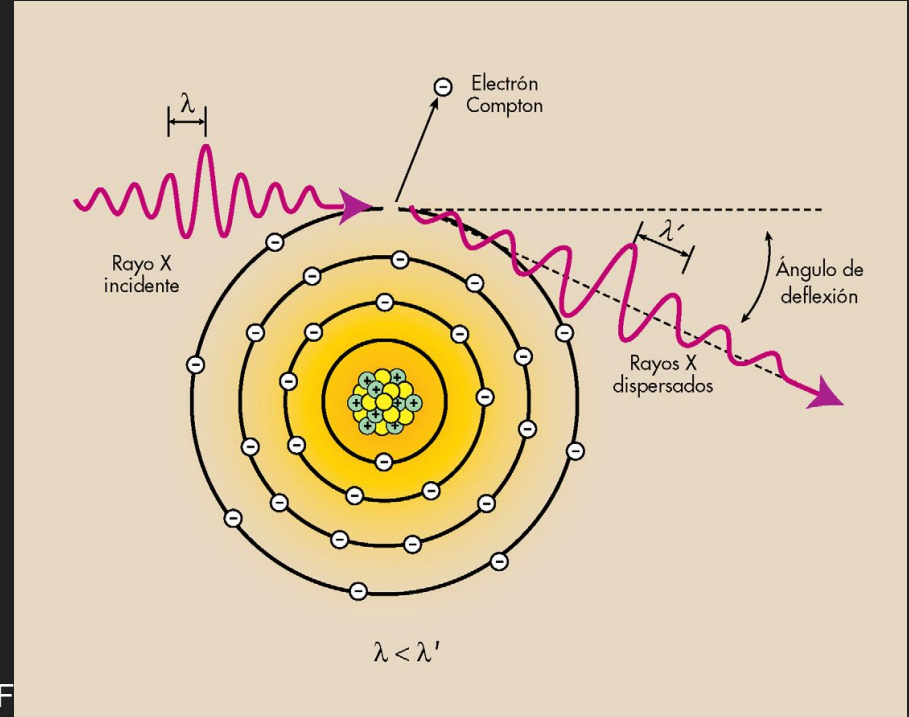
EFECTO FOTOELÉCTRICO

COMPORTAMIENTO DE LA RADIACIÓN CARACTERÍSTICA EN DIFERENTES MATERIALES

Material	Densidad / Z efectivo	Interacción con fotón característico	Probabilidad de que llegue al sensor
Hueso	Alta / $Z \approx 13-17$	Alta absorción fotoeléctrica	Muy baja
Tejido blando	Baja / $Z \approx 6-7$	Menor absorción, pero también dispersa	Baja a media (según espesor)
Metales (p. ej., amalgama, implantes)	Muy alta / $Z > 30$	Casi total absorción o generación de nuevos fotones característicos propios	Casi nula, puede generar artefactos o bloqueo completo

EFECTO COMPTON

- Fotón/electrón externo.
- Desviación, pérdida de energía.
- Escape del electrón.
- Ionización del átomo.

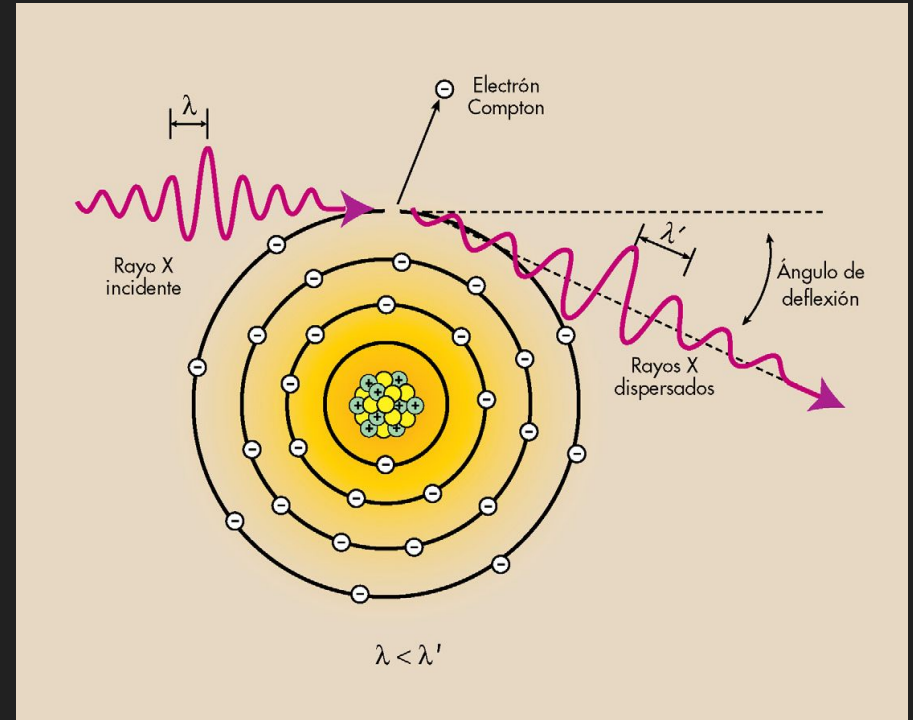


Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos: F protección radiológica (10ª ed.). Elsevier.

EFECTO COMPTON

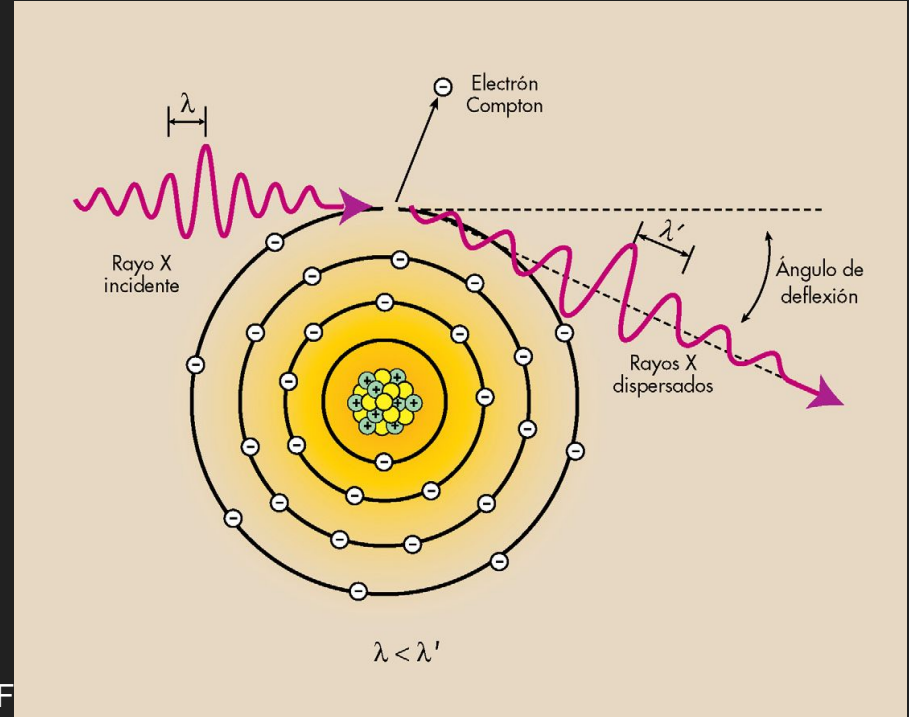
✦ La fórmula simplificada de la conservación de la energía sería:

$$E_{\text{fotón incidente}} = E_{\text{fotón dispersado}} + E_{\text{electrón Compton}}$$



EFECTO COMPTON

- **Desviación, pérdida de energía.**
- Escape del electrón.
- Ionización del átomo.



Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos: F protección radiológica (10ª ed.). Elsevier.

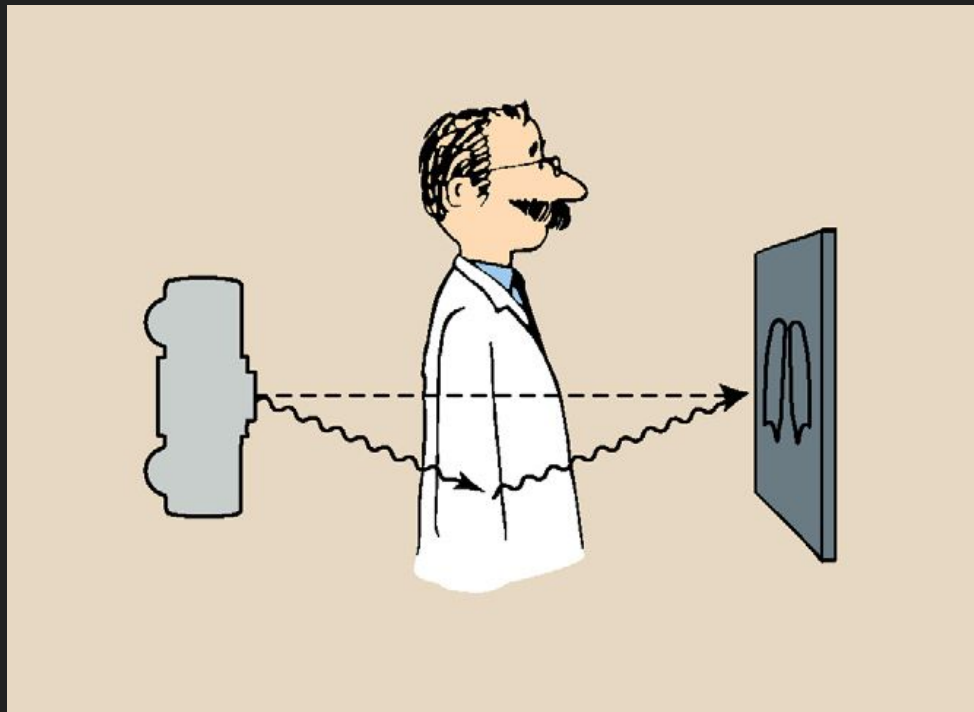
EFEECTO COMPTON



Comparación de interacciones en tejidos blandos (probabilidades relativas aproximadas)

kVp	Efecto fotoeléctrico	Dispersión coherente	Dispersión Compton
60	10–15%	~2%	83–88%
70	7–10%	~1%	89–92%
80	5–8%	<1%	91–94%
90	3–6%	<1%	93–96%
100	2–4%	<1%	95–97%

EFEECTO COMPTON



EFFECTO COMPTON



A: Physical Grid



B: SmartGrid



C: No SmartGrid

IMAGEN RADIOGRÁFICA

- **Haz de rayos X (polienergetico).**
- **Los fotones:**
 - Atraviesan s/interacción.**
 - Absorbidos.**
 - Dispersados.**

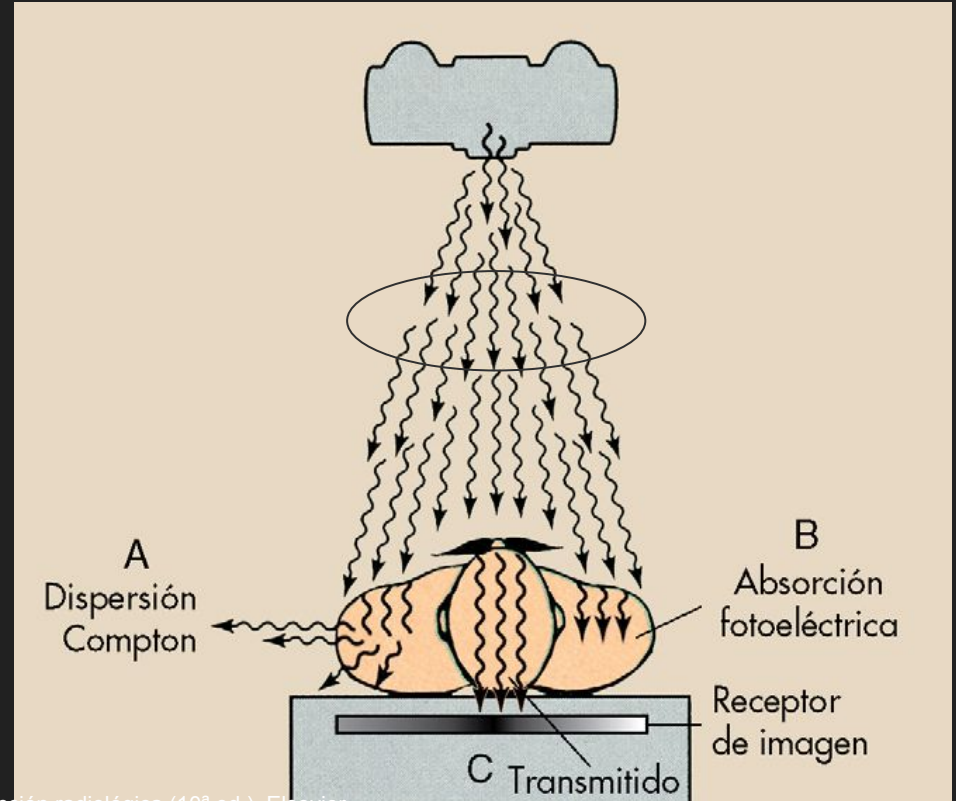


IMAGEN RADIOGRÁFICA

- **Haz de rayos X (polienergetico).**
- **Los fotones:**
 - a. Atraviesan s/interacción.**
 - b. Absorbidos.**
 - c. Dispersados.**

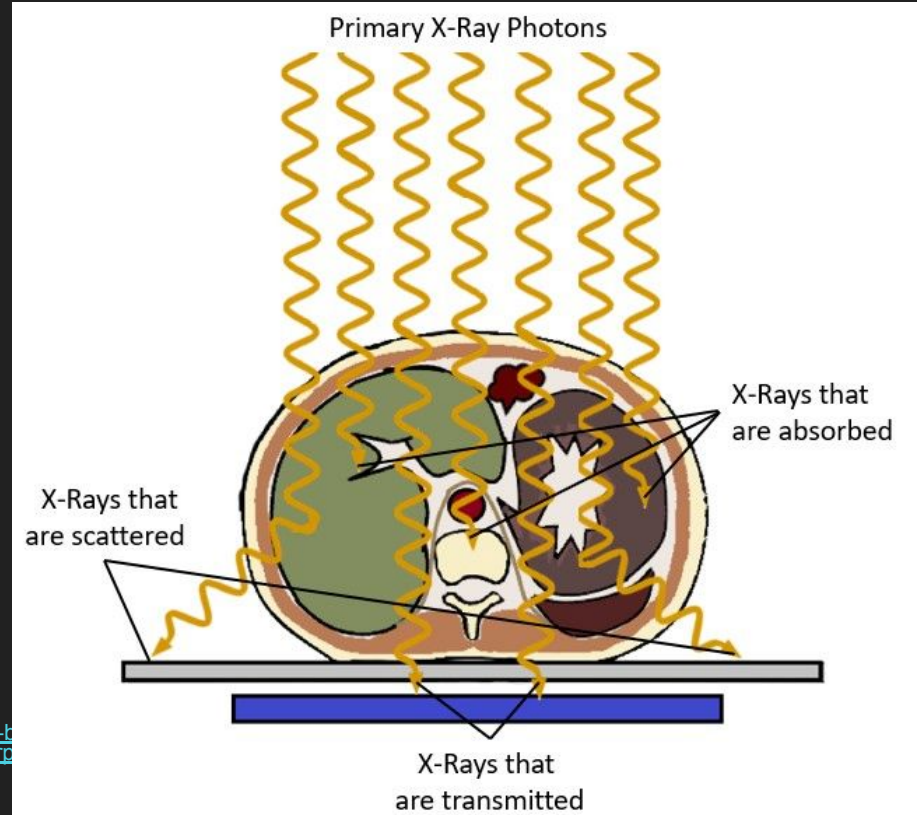
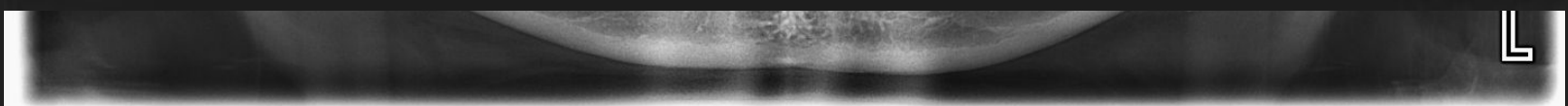
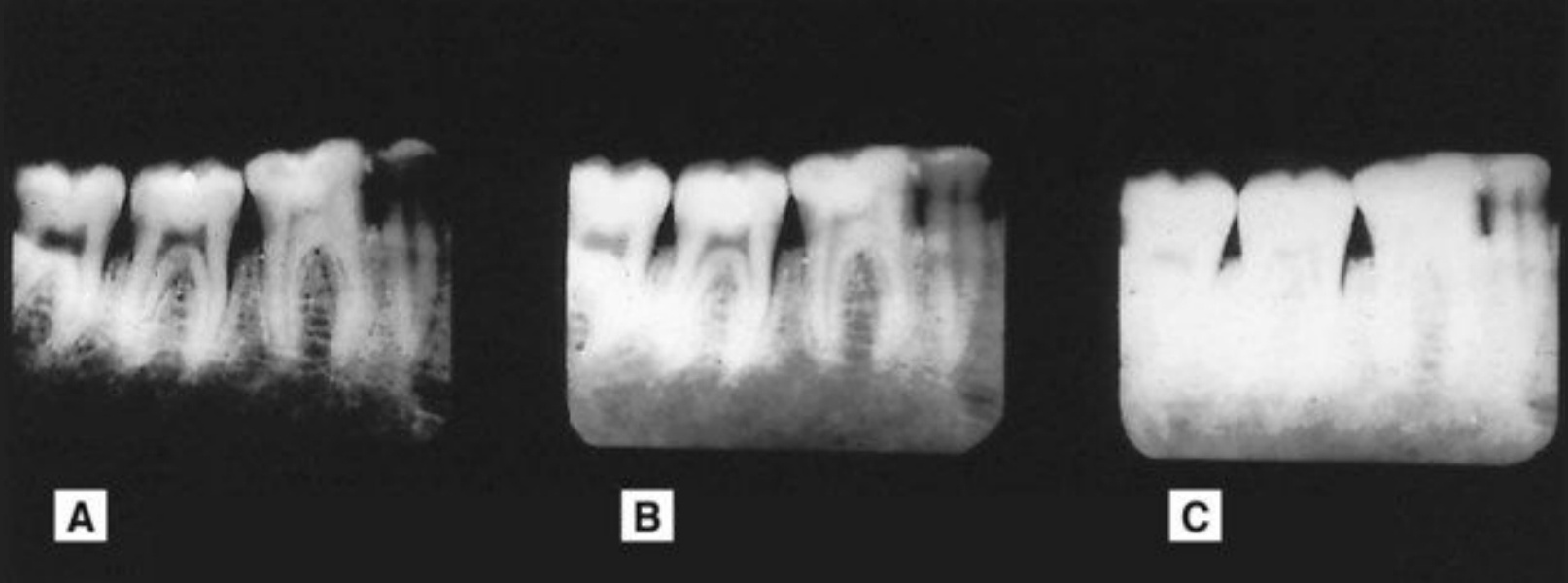
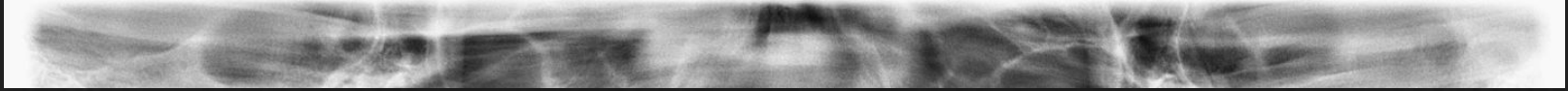


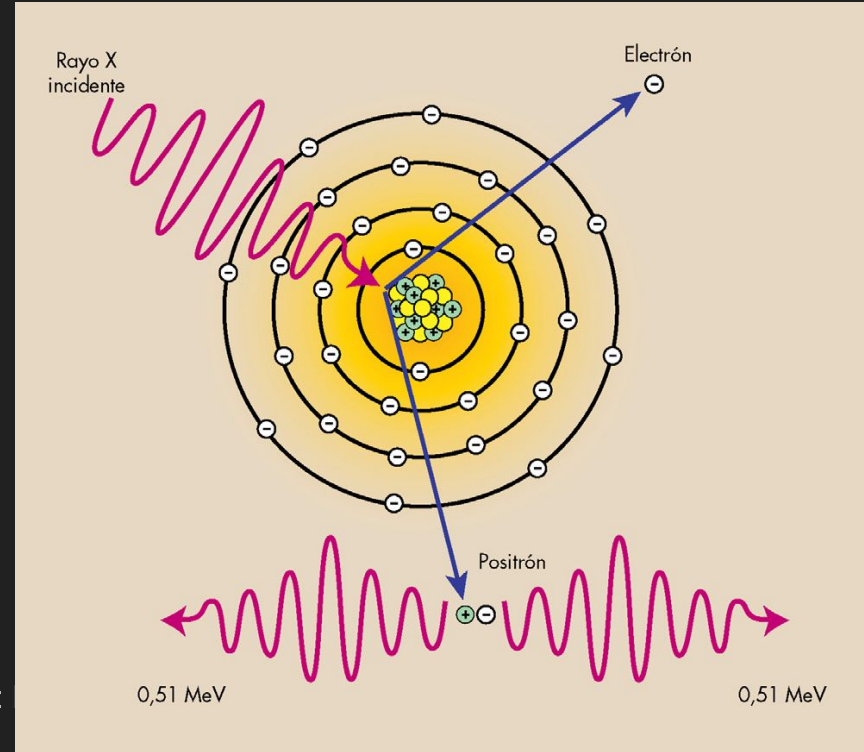
IMAGEN RADIOGRÁFICA



FORMACIÓN DE PARES

- Influencia del núcleo.
- Desaparición del fotón.
- Aparición de dos electrones (e^- , e^+).
- Megaelectronvoltio (MeV)
- 1.02 MeV
- Equipos de terapia/investigación.
- Aniquilación e^+ con e^- de $2 \times 511 \text{ KeV}$.

Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos: protección radiológica (10ª ed.). Elsevier.



FORMACIÓN DE PARES



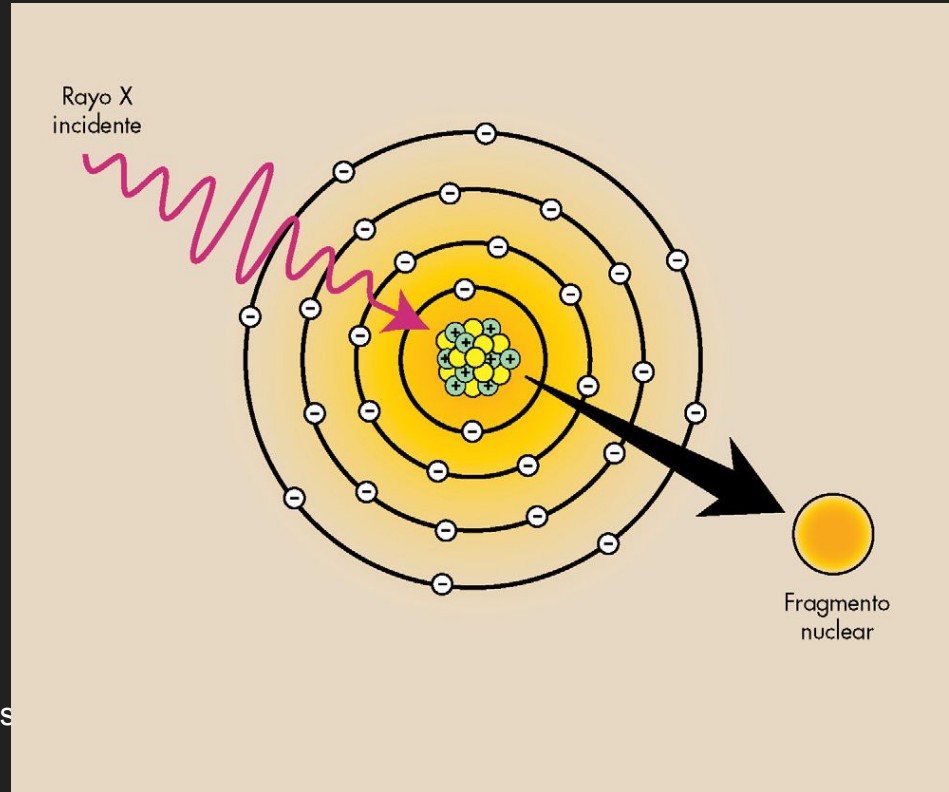
Tabla de Energías en Equipos Médicos (kV vs. MeV)

Equipo	Energía	Aplicación	Interacción Dominante
Radiografía Dental	50–70 kV	Dientes/mandíbula	Fotoeléctrico
Mamografía	25–35 kV	Cáncer de mama	Fotoeléctrico
Fluoroscopia	60–120 kV	Estudios GI/angiografía	Fotoeléctrico + Compton
CT	80–140 kV	Imagen 3D	Compton
CBCT Dental	70–90 kV	3D dental/craneal	Compton
Radioterapia Superficial	50–150 kV	Piel	Fotoeléctrico
Cobalto-60 (⁶⁰ Co)	1.17–1.33 MeV	Radioterapia (GammaKnife)	Compton + Pares
LINAC	6–25 MeV	Tumores profundos	Pares + Compton
PET	511 keV	Diagnóstico oncológico	Aniquilación e ⁺ e ⁻
Ciclotrón	10–30 MeV	Producción de radioisótopos	Pares + Radiación de frenado

Información generada

DESINTEGRACIÓN FOTÓNICA

- Energías mayores a 10 MeV.
- Se emite un nucleón.
- Neutrón a velocidades altas (7-10 MeV).
- Protón (10 a 20 MeV).



Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos protección radiológica (10ª ed.). Elsevier.

DESINTEGRACIÓN FOTÓNICA

 Tabla comparativa: Energía (MeV) de partículas nucleares vs. rayos X médicos

Modalidad / Partícula	Energía (MeV) aproximada	Comentario
☒ Neutrón liberado (fotodesintegración)	1 – 5 MeV	Fragmento sin carga, muy penetrante
☒ Protón liberado	1 – 3 MeV	Más energético que RX, alto LET
☐ Rayo X periapical (70 kVp)	0.025 – 0.035 MeV	Energía promedio de fotones: 25–35 keV
☐ Rayo X panorámico (60–90 kVp)	0.02 – 0.04 MeV	Depende del filtrado y generador
☐ CBCT dental (80–90 kVp)	0.03 – 0.05 MeV	Energía efectiva variable, similar a radiografía
☐ Radiografía de tórax (120 kVp)	0.04 – 0.06 MeV	Energía promedio $\sim \frac{1}{3}$ – $\frac{1}{2}$ del kVp
☐ Radiografía de abdomen (100–120 kVp)	0.04 – 0.06 MeV	Igual que tórax, depende de la técnica
☐ Radiografía de mama (mamografía, 25–30 kVp)	0.012 – 0.017 MeV	Energía más baja, para tejidos blandos



Información generada o

DOSIMETRÍA
PROTECCIÓN CONTRA LA RADIACIÓN
CONSECUENCIAS DE LA RADIACIÓN

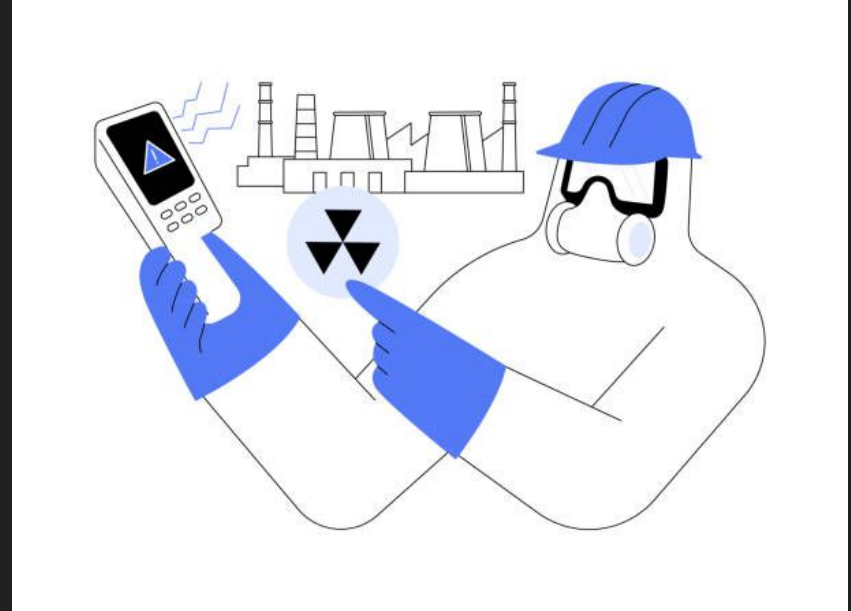
DOSIMETRÍA

1. EXPOSICIÓN.
2. ENERGÍA
TRANSFERIDA/ABSOR-
BIDA.
3. PONDERACIÓN DE
EFECTOS BIOLÓGICOS
Y DETERMINACIÓN DE
ABSORCIÓN POR
TEJIDO EXPUESTO.



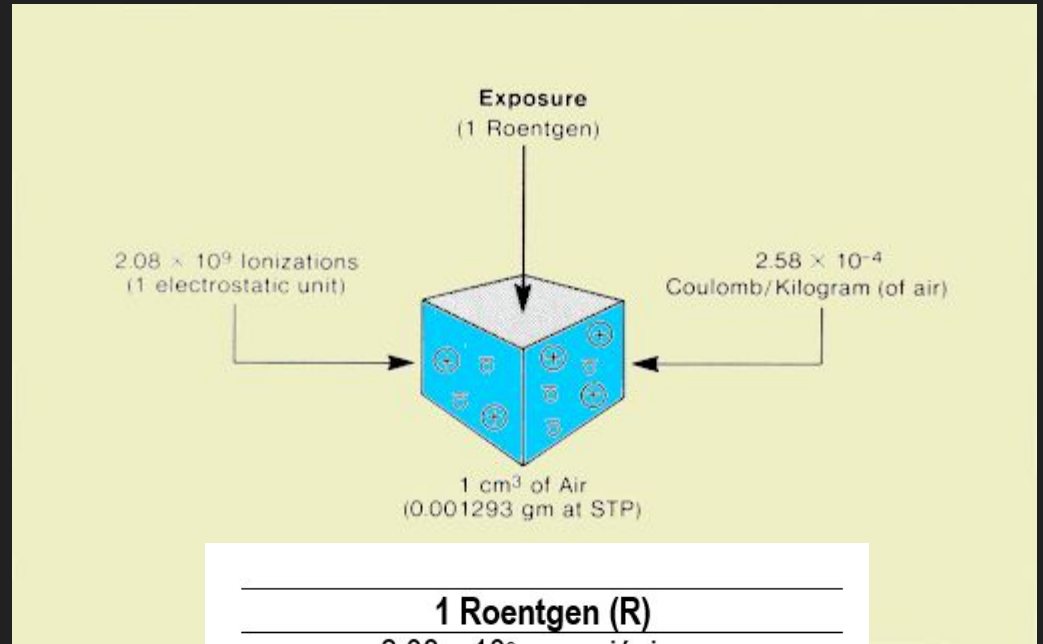
DOSIMETRÍA

- Estudia cuánta energía de radiación recibe un material o tejido.
- Solo se aplica a radiaciones ionizantes.
- Evaluar riesgos.
- Garantizar seguridad.



EXPOSICIÓN

- Medida de carga eléctrica expresada en Coulomb/kg.
- Relacionada a pares iónicos.



1 Roentgen (R)

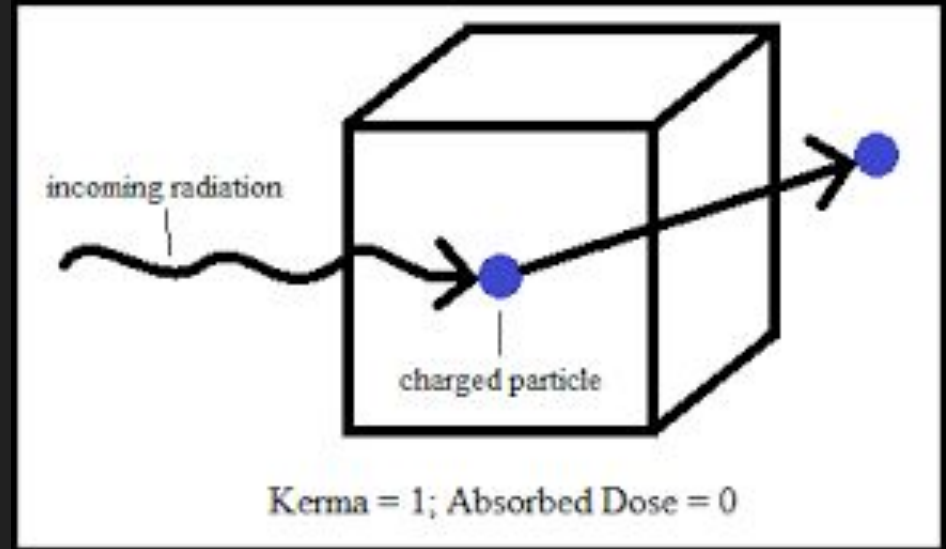
2.08×10^9 pares iónicos

2.58×10^{-4} Coulomb/Kg (Carga)

<https://images.app.goo.gl/1RZVYWoVC9AuKwsn7>
<https://images.app.goo.gl/dXKYdaLxdf22EwzK8>

EXPOSICIÓN

- Grado de ionización del aire (O, N, CO₂, Ar) .
- Directamente proporcional a la energía del haz.
- Indicador indirecto de la cantidad de radiación dispersa en el ambiente.



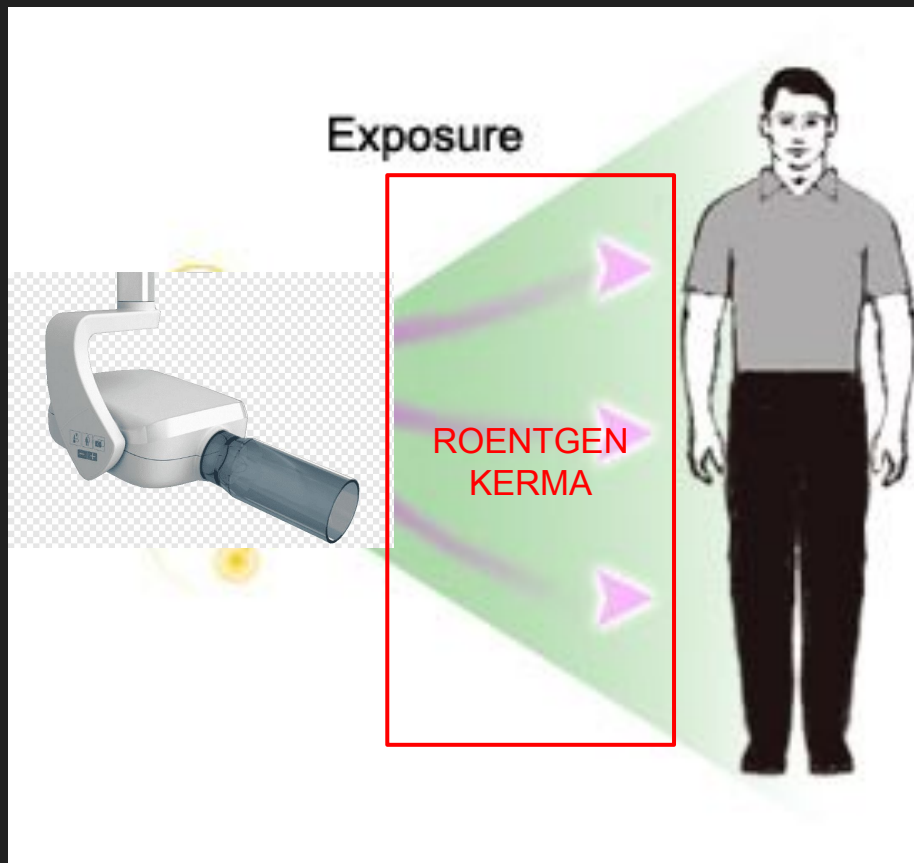
<https://images.app.goo.gl/e4hFCZEn6FM88fv67>

EXPOSICIÓN

vs Diferencias clave

Característica	Exposición (R)	Kerma en aire (Gy)
¿Qué mide?	Carga eléctrica liberada (ionización)	Energía transferida a electrones
Unidad	Roentgen (R)	Gray (Gy)
Sistema de unidades	Tradicional (fuera del SI)	Sistema Internacional (SI)
Medio de aplicación	Solo en aire	Aire, tejidos, agua, etc.
Tipo de radiación	Rayos X y gamma	Rayos X y gamma
Relación con dosis absorbida	Indirecta	Más cercana (preludio de dosis absorbida)
Uso actual	Histórica / calibración de detectores	Dosimetría médica moderna

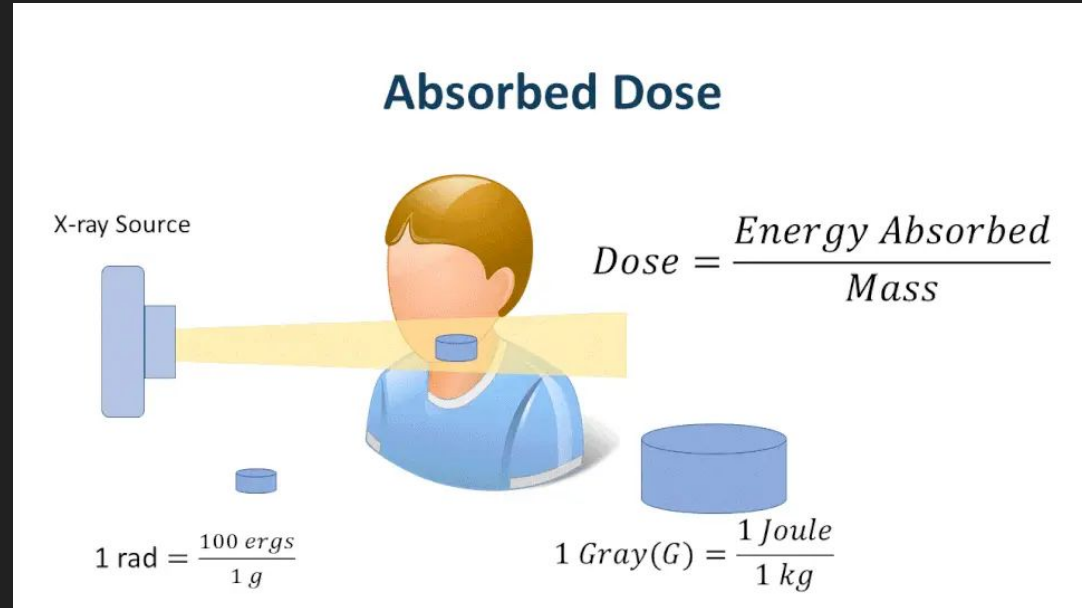
Información gene



<https://images.app.goo.gl/y4618FuvtkEHusZ49>

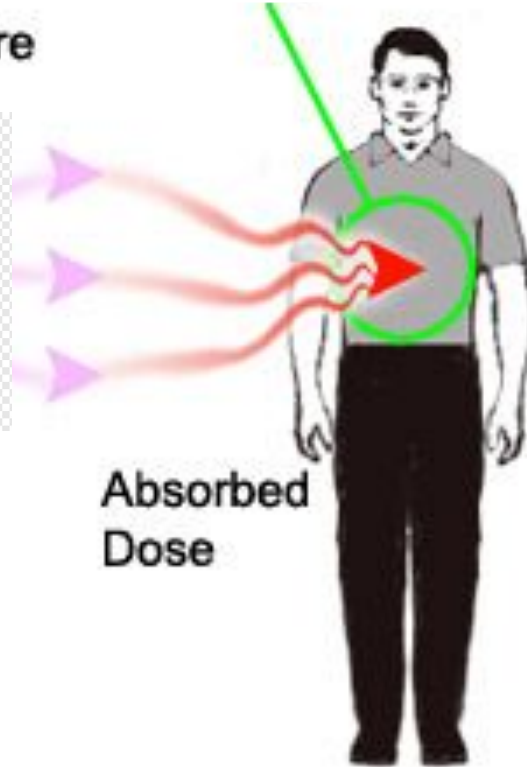
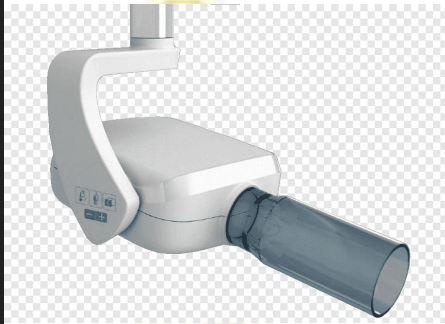
DOSIS ABSORBIDA (D)

- Medición de la energía depositada en una masa.
- No tiene en cuenta la composición del material.
- Rad = 100 erg/gr.
- Gray = 1 J/Kg.
- 100 Rad = 1 Gray



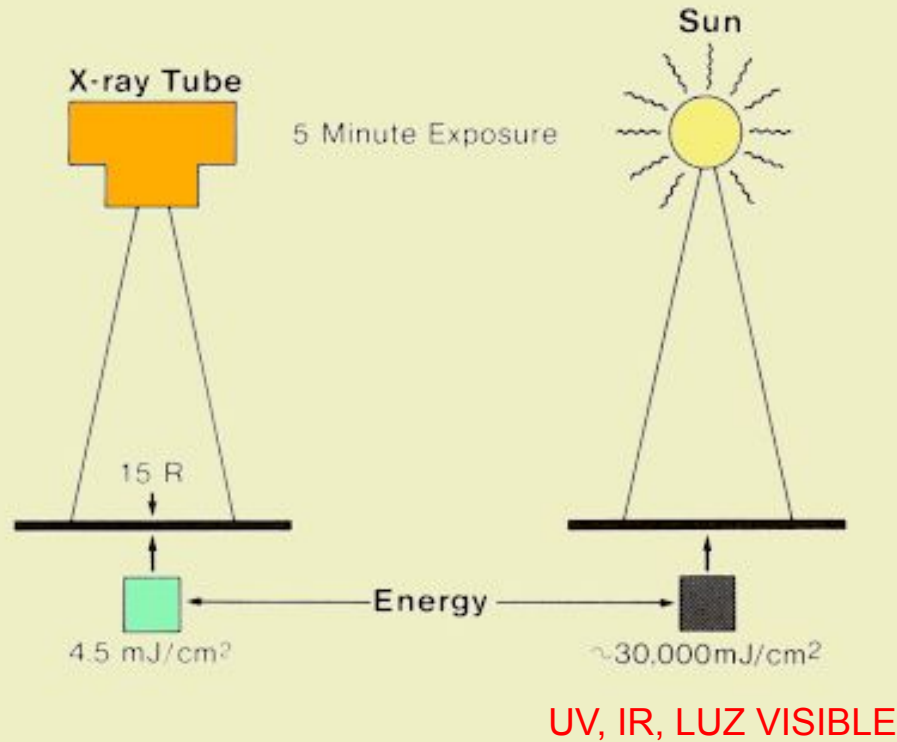
<https://images.app.goo.gl/quZ52vrousFNazQ6A>

Exposure



Absorbed
Dose

<https://images.app.goo.gl/0RZ1WLyj0uV0XcV37A>



DOSIS EQUIVALENTE (H)

- Energía depositada en un tejido ajustada por el factor relacionado a la radiación ionizante.
- REM
- SIEVERT

$$E = \sum_T w_T H_T$$

where

- H_T is the equivalent dose averaged over the tissue or organ, T , due to the incident radiation, R .
- w_T the tissue weighting factor.

100 REM = 1 Sievert

DOSIS EQUIVALENTE

Ejemplo de cálculo de dosis equivalente:

$$\text{Dosis equivalente (Sv)} = \text{Dosis absorbida (Gy)} \times \text{WR}$$

Así, 1 Gy de radiación alfa equivale a 20 Sv, mientras que 1 Gy de rayos X equivale a 1 Sv.

DOSIS EQUIVALENTE

Tipo de radiación	LET aproximado (keV/ μ m)	WR (factor de ponderación)	Dosis absorbida (Gy)	Dosis equivalente (Sv) = Gy $\times$ WR	Ejemplo clínico
Rayos X	1–3	1	1 Gy	1 Sv	Radiografía dental, TC, mamografía
Radiación gamma (γ)	0.2–3	1	1 Gy	1 Sv	Radioterapia externa, gammagrafía
Radiación beta (β)	0.2–10	1	1 Gy	1 Sv	Tratamientos de medicina nuclear
Radiación alfa (α)	100–200	20	1 Gy	20 Sv	Inhalación de radón, braquiterapia alfa
Neutrones (depende de E)	10–100	5–20	1 Gy	5–20 Sv	Terapia con neutrones

DOSIS EFECTIVA (E)

- Determinación de la dosis ajustada por los órganos expuestos.
- HUMANOS
- Sievert.

$$E = \sum (D_T \times W_T)$$

Donde:

- D_T es la **dosis absorbida media** en un tejido u órgano específico T , medida en **Gray (Gy)**.
- W_T es el **factor de ponderación tisular** correspondiente a ese órgano o tejido.
- El resultado **E** se expresa en **Sievert (Sv)**.

Tejido u órgano	WT	Comentarios
Médula ósea roja	0.12	Alta producción celular, riesgo leucemia.
Colon	0.12	Tejido muy radiosensible.
Pulmón	0.12	Alta incidencia de cáncer tras irradiación.
Estómago	0.12	Afectado en exposiciones abdominales.
Glándula mamaria (mama)	0.12	Especialmente sensible en mujeres jóvenes.
Gónadas	0.08	Riesgo hereditario; fertilidad.
Vejiga	0.04	Frecuentemente irradiada en estudios pélvicos.
Hígado	0.04	Órgano de gran masa irradiado en estudios abdominales.
Esófago	0.04	Tránsito frecuente de haces torácicos.
Tiroides	0.04	Sensible en niños; expuesta en estudios cervicales.
Piel	0.01	Baja radiosensibilidad relativa.
Superficie ósea	0.01	Baja regeneración celular.
Cerebro	0.01	Relativamente resistente a efectos estocásticos.
Resto del cuerpo	0.12	Distribuido entre tejidos no listados arriba.

Nota: La suma total de todos los WT = 1.00

International Commission on Radiological Protection. *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 103. Ann ICRP. 2007;37(2-4):1–332.

Estudio	Región / tipo de imagen	Dosis efectiva (mSv)	Referencia principal
Radiografía dental panorámica	Cavidad oral	0.005 – 0.03	Ludlow et al., 2008
Cefalometría lateral	Cráneo	0.002 – 0.008	Yilmaz et al., 2015
CBCT campo pequeño (5×5 cm)	Región local	0.01 – 0.03	Pauwels et al., 2012
CBCT máxilofacial completo	Cráneo facial completo	0.07 – 0.25	ICRP 129, 2015
Radiografía de tórax PA	Tórax	0.02 – 0.1	Mettler et al., 2008
Radiografía abdominal	Abdomen	0.3 – 0.7	Huda et al., 2008
Tomografía de tórax (CT)	Tórax completo (espiral)	4 – 8	Mettler et al., 2008; ICRP 103, 2007
Tomografía abdominal y pélvica (CT)	Abdomen + pelvis	8 – 15	HPA-RPD-029, 2007; Mettler et al., 2008

Información generada con asistencia de ChatGPT y revisada por el autor.

Tabla comparativa

Elemento	Periapical	Panorámica dental	CBCT campo medio (10×10 cm)	Radiografía de tórax PA
kVp aproximado	60–70 kVp	70–90 kVp	80–100 kVp	110–130 kVp
Órganos irradiados	Dientes, hueso (0.01), piel (0.01)	Glándulas salivales (0.01), tiroides (0.04), médula ósea (0.12)	Mandíbula, tiroides, glándulas salivales, encéfalo, piel	Pulmones (0.12), piel (0.01), médula ósea (0.12), mama (0.12)
Dosis absorbida típica (mGy)	0.005 mGy	0.03 mGy	0.4 mGy	0.2 mGy
Cálculo estimado de E	$(0.005 \times 0.01 \times 2) \approx$ 0.0001 mSv	$(0.03 \times (0.01 + 0.04 + 0.12)) \approx$ 0.005 – 0.01 mSv	$0.4 \times (0.01 + 0.04 + 0.12 + 0.01)$ $\approx 0.07 – 0.09$ mSv	$0.2 \times (0.12 + 0.01 + 0.12 + 0.12) \approx$ 0.07 – 0.1 mSv
Dosis efectiva estimada (E)	~0.0001 mSv	0.005 – 0.01 mSv	0.07 – 0.09 mSv	0.07 – 0.1 mSv
Equivalente en días de radiación natural	~0.01 días	0.6 – 1.2 días	8.5 – 11 días	8.5 – 12 días

Información generada con asistencia de ChatGPT y revisada por el autor.

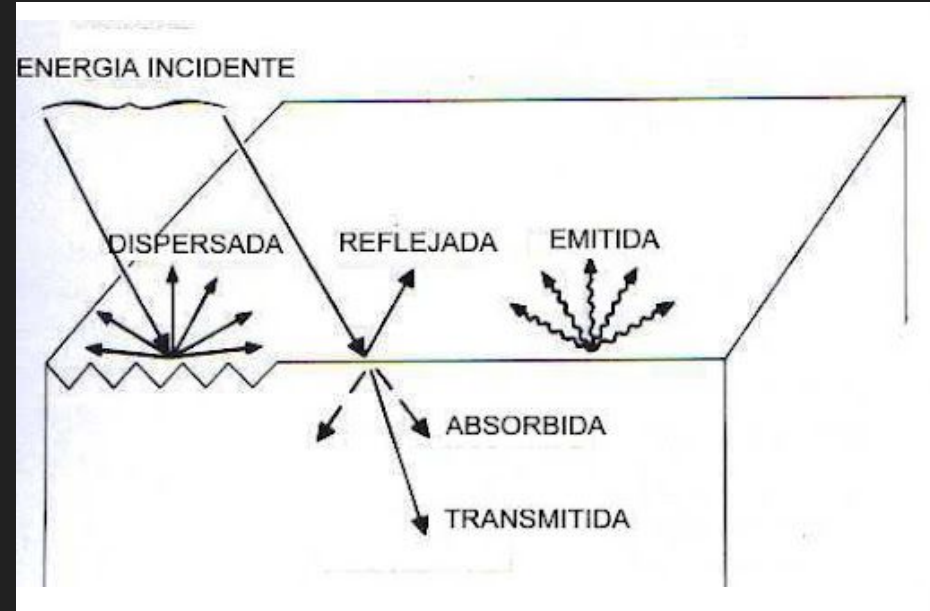
DENTAL 	Procedimiento	Dosis de radiación efectiva aproximada		Comparable a la radiación natural de fondo para:
	Rayos X dentales	0,005 mSv	4000	1 día
	Rayos X panorámicos	0.025 mSv	800	3 días
	Tomografía computarizada (TC) dental de haz cónico	0.18 mSv	11	22 días

CORAZÓN 	Procedimiento	Las dosis de radiación efectiva aproximada	Comparable a la radiación natural de fondo para:
	Angiografía coronaria por TC (ACTC)	8.7 mSv	3 años
	TC cardíaca para la cuantificación de calcio coronario	1.7 mSv	6 meses
	Angiografía por tomografía computarizada no cardíaca (CCTA)	5.1 mSv	menos de 2 años
	Tomografía computarizada (TC) de columna	3.0 mSv	3 años
	Enema de bario (rayos X del tracto GI inferior)	6 mSv	2 años
	Estudio con bario del tracto GI superior	6 mSv	2 años

PROTECCIÓN CONTRA LA RADIACIÓN

Puntos a considerar:

1. La radiación viaja en línea recta.
2. Su intensidad disminuye al incrementar la distancia.
3. La radiación puede ser reflejada, dispersada o absorbida.



Fredericksen N. Radiobiología. En: White SC, Pharoah MJ, eds. *Radiología oral: principios e interpretación*. 4ª ed. St. Louis: Mosby; 1997. p. 23–40.

ALARA

A.L.A.R.A.
AS LOW AS
REASONABLY
ACHIEVABLE

Reorder: NHE-27557 www.ComplianceSigns.com

PROTECCIÓN CONTRA LA RADIACIÓN

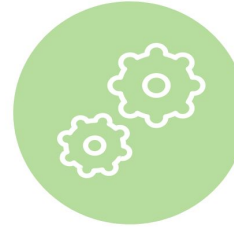
Principios fundamentales de protección (ICRP 2007)

1. Justificación del estudio.
2. Optimización de la protección.
3. Aplicación del límite de dosis.

3 Pilares Básicos en Protección Radiológica



Justificación



Optimización



Limitación de dosis

Aplicación del límite de dosis.

Límites de dosis recomendados en situaciones de exposición planificadas (valores actualizados según ICRP)

Tipo de límite	Ocupacional (trabajadores expuestos)	Público general
Dosis efectiva anual	20 mSv por año en promedio durante 5 años (máximo 100 mSv en 5 años y no más de 50 mSv en un solo año)	1 mSv por año en promedio durante 5 años (puede superar 1 mSv en un año siempre que el promedio a 5 años no lo haga)
Dosis equivalente anual al cristalino	20 mSv por año en promedio durante 5 años (nuevo límite basado en evidencia de cataratas)	15 mSv por año
Dosis equivalente anual en piel	500 mSv por año, promediado en cualquier área de 1 cm ² independientemente del área expuesta	50 mSv por año
Dosis equivalente anual en manos y pies	500 mSv por año	No aplica

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

- Minimizar exposición.
- Tres principios:
 1. Tiempo.
 2. Distancia.
 3. Protección.



Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos: Física, biología y protección radiológica (10ª ed.). Elsevier.

TIEMPO

- Duración de la exposición.
- Directamente proporcional.



TIEMPO
Exposición = tasa de exposición × tiempo de exposición

Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos: Física, biología y protección radiológica (10ª ed.). Elsevier.

TIEMPO

✓ Ejemplo simple:

Tiempo de exposición	Tasa de dosis constante	Dosis recibida
1 segundo	0.05 mSv/s	0.05 mSv
5 segundos	0.05 mSv/s	0.25 mSv
10 segundos	0.05 mSv/s	0.5 mSv

Información generada con asistencia de ChatGPT y revisada por el autor.

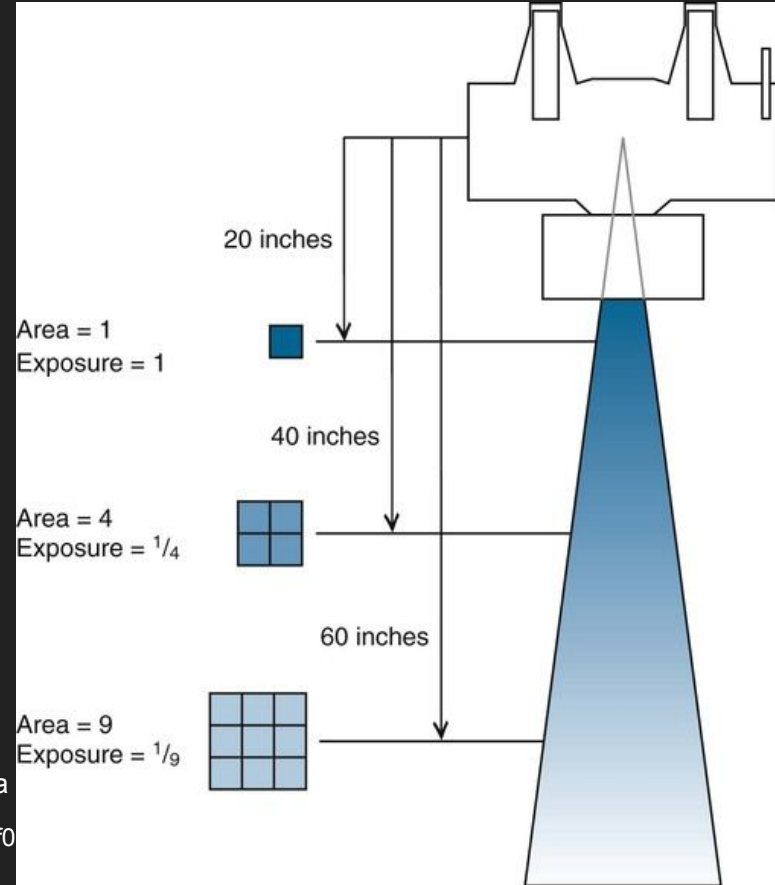
Modalidad / Técnica	Tiempo típico de exposición	Tasa de dosis estimada (mSv/s)	Dosis total estimada (mSv)	Comentario
 Radiografía periapical digital	0.1 – 0.2 s	0.02 – 0.05	0.002 – 0.01	Muy baja, sensor digital eficiente
 Radiografía panorámica	10 – 20 s	0.0015 – 0.003	0.015 – 0.030	Exposición rotatoria
 CBCT campo pequeño	5 – 10 s	0.006 – 0.01	0.03 – 0.1	Depende del voxel y FOV
 CBCT campo intermedio (11×8 cm)	12 – 20 s	0.01 – 0.015	0.12 – 0.3	Mayor volumen expuesto
 Tórax PA (posterior-anterior)	0.1 – 0.2 s	0.5 – 1.0	0.05 – 0.2	Alta energía (120 kVp)
 Abdomen AP	0.2 – 0.5 s	1.0 – 2.0	0.2 – 1.0	Aumento de masa expuesta
 Mamografía (ambas mamas)	1 – 2 s (total)	0.2 – 0.3	~0.4	Uso de baja energía
 Fluoroscopia	10 – 60 s (promedio)	0.02 – 0.05	0.2 – 3.0	Riesgo acumulado por tiempo
 Tomografía médica (TC cabeza)	1 – 3 s	3.0 – 5.0	~2	Alta dosis en corto tiempo
 Angiografía	30 – 180 s (procedimiento)	0.05 – 0.1	3 – 15	Procedimiento prolongado

DISTANCIA

- Al aumentar la distancia, disminuye la exposición.
- Inversamente proporcional.

$$\text{Intensidad} \propto \frac{1}{\text{distancia}^2}$$

Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos: Física, biología (10ª ed.). Elsevier.
https://radiologykey.com/wp-content/uploads/2016/02/B9780323084956000014_f0



DISTANCIA

  Tabla comparativa: Estudios radiológicos (NCRP, 3.0 mSv/año)

Estudio	DFP	Dosis efectiva (mSv)	Equiv. en días de radiación natural	Riesgo estocástico	Riesgo determinístico
Radiografía periapical	15–20 cm	0.005 – 0.01	0.6 – 1.2 días	Muy bajo	Nulo
Radiografía bitewing	15–20 cm	0.005 – 0.01	0.6 – 1.2 días	Muy bajo	Nulo
Radiografía oclusal	20–30 cm	0.01 – 0.02	1.2 – 2.4 días	Muy bajo	Nulo
Radiografía panorámica	Automática ¹	0.02 – 0.03	2.4 – 3.7 días	Bajo	Nulo
CBCT campo pequeño	Automática ¹	0.05 – 0.2	6.1 – 24.4 días	Bajo	Nulo
CBCT campo medio	Automática ¹	0.2 – 0.6	24.4 – 73.2 días	Moderado	Nulo
CBCT campo amplio	Automática ¹	0.6 – 1.1	73.2 – 134.1 días	Moderado	Nulo
Tórax PA (posteroanterior)	180 cm	0.1	12.2 días	Bajo	Nulo
Tórax AP portátil	100–120 cm	0.1 – 0.2	12.2 – 24.4 días	Bajo – Moderado	Nulo

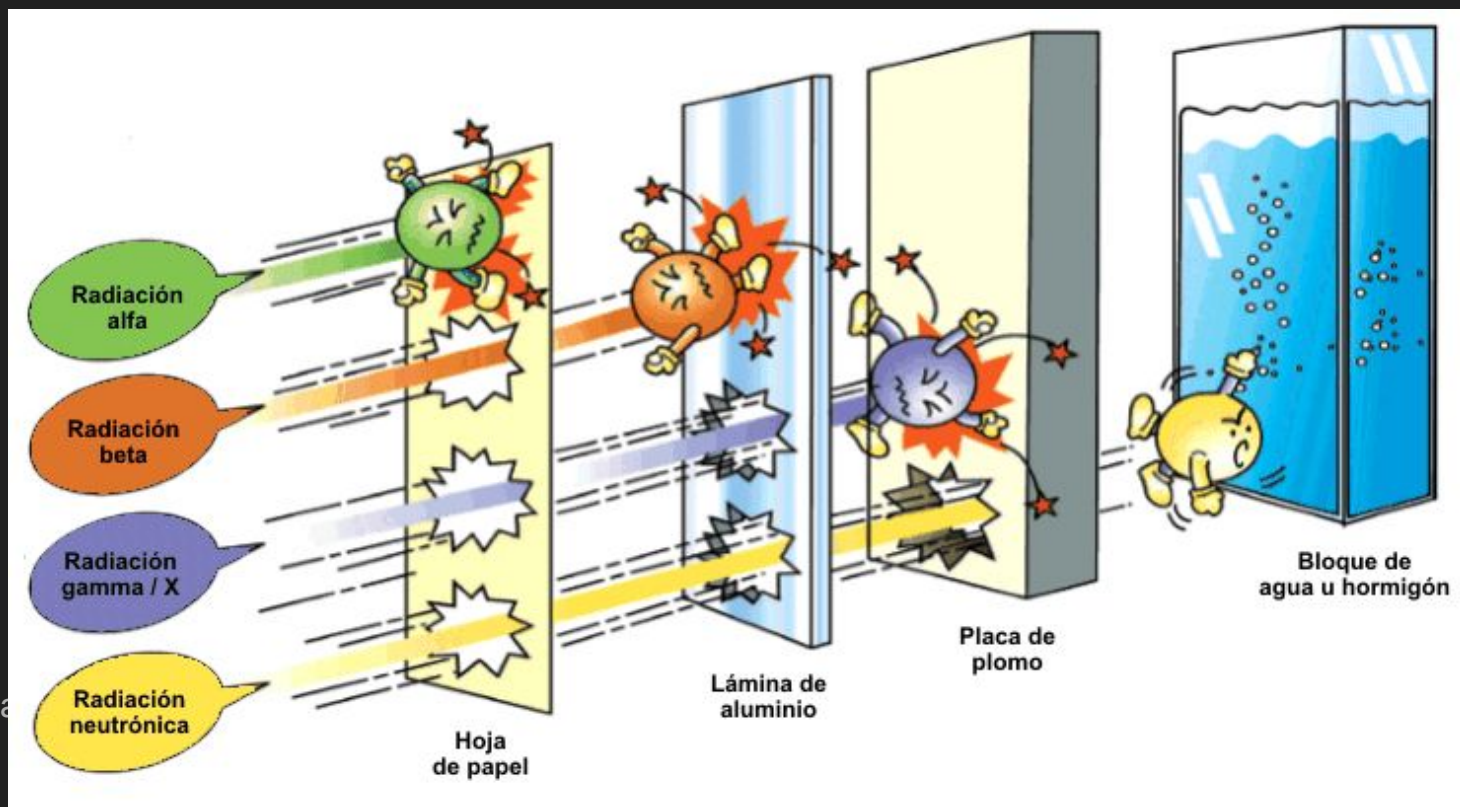
DISTANCIA

Disminución de dosis por distancia (fuente puntual)

Estudio	Dosis a 1 m (μSv)	Dosis a 2 m (μSv) (% ↓)	Dosis a 3 m (μSv) (% ↓)	Dosis a 4 m (μSv) (% ↓)
Periapical (intraoral)	5.0	1.25 (↓75%)	0.56 (↓88.8%)	0.31 (↓93.8%)
Panorámica	24.0	6.0 (↓75%)	2.67 (↓88.9%)	1.5 (↓93.75%)
CBCT campo medio	130.0	32.5 (↓75%)	14.4 (↓88.9%)	8.1 (↓93.8%)
Tórax (PA)	100.0	25.0 (↓75%)	11.1 (↓88.9%)	6.25 (↓93.75%)

Información generada con asistencia de ChatGPT y revisada por el autor.

BLINDAJE



<https://ima>

BLINDAJE

- Medida de protección pasiva.
- En personas que no están siendo examinadas directamente.
- Interposición de materiales absorbentes entre la fuente de radiación y las personas.

<https://images.app.goo.gl/QptM8K4daikwkmR28>

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA



BLINDAJE

- Plomo.
 - $Z=82$ (fotoeléctrica)
 - Densidad= 11.34 g/cm^3
- 1 mm puede reducir a menos de 1% de la energía inicial.
- Tenth Value Layer (TVL)
- Half Value Layer (HVL)



BLINDAJE

Comparación práctica:

Concepto	HVL (Half-Value Layer)	TVL (Tenth-Value Layer)
Uso principal	Control de calidad, calibración	Diseño de blindaje estructural
Reducción de radiación	50%	90%
Aplicación clínica	Verifica filtración y calidad del haz	Determina espesor de barreras
Unidades comunes	mm de Aluminio, mm de Pb	cm o mm según el material

Información generada con asistencia de ChatGPT y revisada por el autor.

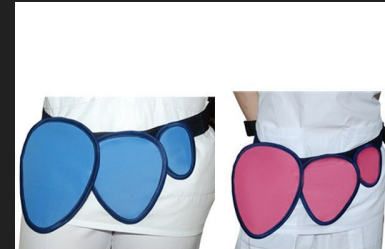
BLINDAJE

Espesor de Pb	kVp	Atenuación (%)	Transmisión restante (%)	Aplicación sugerida
1 mm	70	99.9	0.1	Radiología dental y general
	80	99.5	0.5	Radiología dental / convencional
2 mm	90	98.5	1.5	Uso moderado, no para flujos altos
	100	97.0	3.0	Límite aceptable en cabinas aisladas
	70	99.99	0.01	Radiología médica y salas de RX
	80	99.9	0.1	Uso hospitalario
	90	99.5	0.5	Protección reforzada
	100	98.5	1.5	Protección aceptable
3 mm	70	99.999	0.001	Medicina nuclear / entornos de alta carga
	80	99.99	0.01	Ideal en salas de intervención
	90	99.9	0.1	Recomendado para blindajes fijos
	100	99.5	0.5	Medicina nuclear / fluoroscopia

Información generada con asistencia de ChatGPT y revisada por el autor.

BLINDAJE

- Blindaje estructural
- Blindaje móvil
- Protectores personales:
 - Delantal plomado: al menos 0.25 mm Pb, idealmente 0.5 mm Pb para estudios más intensos.
 - Cuello tiroideo (collar de tiroides): protege la glándula tiroides, muy radiosensible.
 - Protección gonadal y ocular: según el caso clínico y grupo de riesgo.



<https://images.app.goo.gl/QptM8K4daikwkmR28>

BLINDAJE



Requisitos comunes para delantales y mandilones

Parámetro	Valor típico (dependiendo del país/uso)
Espesor equivalente de plomo	0.25 mm, 0.35 mm o 0.5 mm Pb
Protección frontal	Mínimo 0.25 mm Pb, preferido 0.5 mm Pb para torso
Protección lateral	Opcional, pero recomendable en exposiciones móviles
Mandilón (paciente)	0.25 mm Pb (protección gonadal y tiroidea)
Uso obligatorio	Personal ocupacionalmente expuesto y acompañantes
Marcado	Debe indicar espesor, fabricante y fecha de fabricación
Mantenimiento	Revisiones anuales (físicas y radiográficas contra grietas o pérdidas de plomo)

BLINDAJE

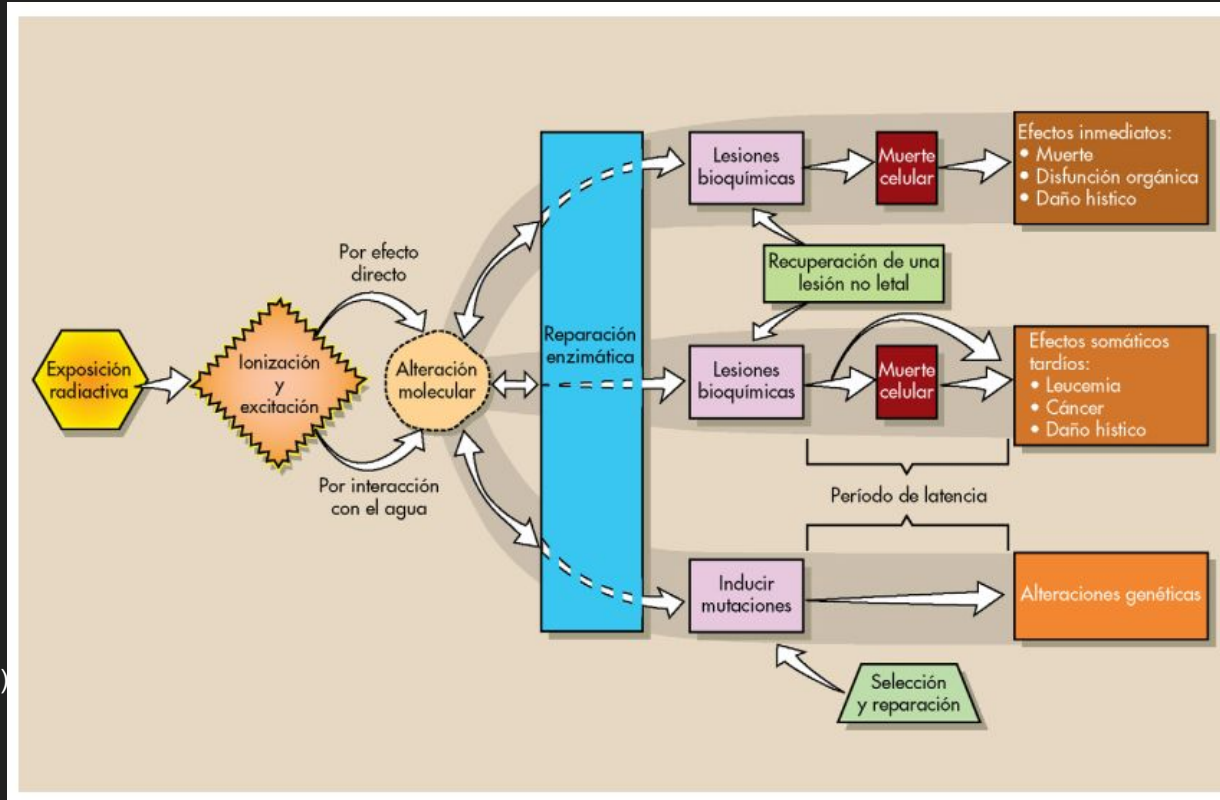
Parámetro	Perú PE (RM N° 515-2011/MINSA)	México MX (NOM-229-SSA1-2002)
Espesor mínimo delantal frontal	0.25 mm Pb (mínimo) – recomendado: 0.5 mm Pb para radiología general	0.25 mm Pb (mínimo) – 0.5 mm Pb en procedimientos prolongados
Protección lateral/costados	No obligatorio, pero sugerido en prácticas móviles	Recomendado cuando el trabajador se expone desde múltiples ángulos
Protección tiroidea	Obligatoria si el haz incide cerca del cuello	Obligatoria para trabajadores y pacientes en exploraciones cercanas al cuello
Uso en odontología	0.25 mm Pb suficiente con protección tiroidea	0.25 mm Pb suficiente, obligatorio en pediatría y embarazadas
Marcado del delantal	Nombre del fabricante, espesor, número de serie, fecha de fabricación	Ídem: datos visibles y permanentes sobre espesor y fabricante
Verificación del estado	Inspección anual (física y con rayos X)	Inspección anual (evaluación visual y con imagenología si se sospecha daño)
Reposición	Cuando hay grietas o disminución de efectividad detectada	Cuando hay daño estructural evidente o falla en inspección
Mandilón para paciente	0.25 mm Pb, recomendado en exámenes con exposición corporal directa	Obligatorio en niños, embarazadas y pacientes en prácticas prolongadas
Responsable de cumplimiento	Servicio de protección radiológica del centro	Supervisor de seguridad radiológica autorizado por la SSA

BLINDAJE

Funciones del blindaje personal:

Tipo de protección	Protege contra	Situaciones comunes
Delantal plomado	Radiación dispersa en el torso	Rx dental, fluoroscopia, CBCT, quirófano
Collar tiroideo	Dispersa que alcanza cuello y tiroides	Rx dental, panorámicas, intervencionismo
Gafas plomadas	Dispersa hacia cristalino	Cirugías con fluoroscopia o escopia
Guantes plomados	Dispersa en manos (uso limitado)	Intervencionismo vascular (con cuidado)

CONSECUENCIAS DE LA RADIACIÓN



Bushong, S. C. (2013)
(10ª ed.). Elsevier.

CONSECUENCIAS DE LA RADIACIÓN

- Son el resultado de la interacción, producto de ionizaciones y excitaciones de las moléculas de un medio que ha recibido un haz de rayos x.
- Mecanismo:
 - Nivel celular (efecto directo).
 - Nivel molecular (efecto directo).
 - Radicales libres del medio acuoso (efecto indirecto).
- Temporalidad:
 - Inmediato (minutos - días)
 - Tardío (meses-años)
- Radioprotección:
 - Estocásticos (cancer, leucemias)
 - Determinísticos (sobreexposición)

CONSECUENCIAS DE LA RADIACIÓN

Radiosensibilidad	Órgano o Tejido	Dosis umbral para efectos deterministas	Posibles efectos deterministas
Alta	Médula ósea roja	~0.5–1 Gy	Supresión hematopoyética, inmunosupresión
	Gónadas (testículos, ovarios)	~0.15–0.5 Gy	Esterilidad temporal o permanente
	Intestino delgado	~6–10 Gy	Mucositis intestinal, vómito, diarrea severa
	Células basales de la epidermis	~2–5 Gy	Eritema, descamación húmeda/seca, necrosis
	Cristalino (ojo)	~0.5–2 Gy	Cataratas (riesgo elevado a largo plazo)
Intermedia	Hígado	~30–40 Gy (fraccionado)	Hepatitis por radiación, disfunción hepática
	Piel (dermis, anexos)	~5–10 Gy	Fibrosis, pérdida de folículos pilosos, necrosis localizada
	Pulmones	~20–30 Gy (fraccionado)	Neumonitis por radiación, fibrosis pulmonar
	Glándulas salivales	~15–25 Gy	Xerostomía, pérdida de función glandular
Baja	Músculo esquelético	>40–50 Gy	Atrofia muscular tardía (raro)
	Tejido nervioso central (cerebro)	>50 Gy	Necrosis cerebral focal, deterioro neurológico (a dosis altas)
	Hueso (adulto)	>50 Gy	Osteorradionecrosis, fracturas tardías
	Piel queratinizada (palmas, plantas)	>10–15 Gy	Engrosamiento, descamación, fibrosis localizada

Información generada con asistencia de ChatGPT y revisada por el autor.

CONSECUENCIAS DE LA RADIACIÓN

Radiosensibilidad	Estructura / Tejido	Dosis Umbral (Gy)	Efectos Deterministas
Alta	Células basales de la epidermis	~2–3 Gy	Eritema, descamación seca
	Membranas mucosas (oral, nasal, rectal)	~3–6 Gy	Mucositis, úlceras, hemorragias mucosas
	Folículos pilosos (fase anágena)	~3 Gy	Alopecia temporal o permanente
	Glándulas sebáceas	~5 Gy	Reducción de secreción sebácea, sequedad cutánea
	Glándulas sudoríparas	~5–10 Gy	Hipohidrosis o anhidrosis localizada
Intermedia	Dermis superficial (fibroblastos, vasos)	~10–15 Gy	Edema, telangiectasias, fibrosis leve a moderada
	Unión dermoepidérmica	~10–15 Gy	Fragilidad cutánea, ampollas, retracción
	Tejido subcutáneo (grasa, microvasos)	~15–25 Gy	Fibrosis, pérdida de elasticidad, daño vascular crónico
	Glándulas salivales (mucosa oral relacionada)	~15–25 Gy	Xerostomía, pérdida de sabor, aumento de caries por sequedad
	Piel queratinizada (palmas, plantas)	>15–20 Gy	Engrosamiento, descamación severa, necrosis localizada
Baja	Tejido conectivo profundo	>30–40 Gy	Fibrosis densa, retracción tisular
	Vasos linfáticos dérmicos	>40 Gy	Linfedema localizado, compromiso del drenaje

Información generada con asistencia de ChatGPT y revisada por el autor.

CONSECUENCIAS DE LA RADIACIÓN

- Temporalidad:
 - Inmediato (minutos - días - semanas)
 - Tardío (meses-años)

EFFECTOS INMEDIATOS DE LA RADIACIÓN EN HUMANOS

1. Síndrome de radiación aguda:
 - a. Síndrome hematológico.
 - b. Síndrome gastrointestinal.
 - c. Síndrome del sistema nervioso central.
2. Lesión hística local:
 - a. Piel.
 - b. Gónadas.
 - c. Extremidades.
3. Depresión hematológica.
4. Lesión citogenética.

EFFECTOS TARDÍOS DE LA RADIACIÓN EN HUMANOS

1. Leucemia.
2. Otras enfermedades malignas:
 - a. Cáncer óseo.
 - b. Cáncer de pulmón.
 - c. Cáncer de tiroides.
 - d. Cáncer de mama.
3. Lesión hística local:
 - a. Piel.
 - b. Gónadas.
 - c. Ojos.
4. Acortamiento de la esperanza de vida.
5. Lesiones genéticas:
 - a. Lesión citogenética.
 - b. Duplicación de dosis.
 - c. Dosis significativa genéticamente.

Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos: Física, biología (10ª ed.). Elsevier.

CONSECUENCIAS DE LA RADIACIÓN

Período	Dosis aproximada (Sv)	Tiempo medio de supervivencia (días)	Signos y síntomas clínicos	Número estimado de CBCT dentales necesarios*	Evento posible asociado
Prodrómico	>1.0 Sv	–	Náuseas, vómitos, diarrea	> 16,700 estudios	Accidentes radiológicos severos (ej. Tokaimura, Japón 1999)
Latente	1.0 – 100 Sv	–	Ninguno	16,700 – 1,670,000 estudios	Exposición accidental prolongada (trabajo con material radiactivo sin protección)
Hematológico	2.0 – 10.0 Sv	10 – 60	Náuseas, vómitos, diarrea, anemia, leucopenia, hemorragias, fiebre, infección	33,300 – 166,700 estudios	Supervivientes cercanos a zonas de explosiones nucleares
Gastrointestinal	10.0 – 50.0 Sv	4 – 10	Igual que el hematológico + trastorno electrolítico, letargo, fatiga, shock	166,700 – 833,300 estudios	Interior de reactor durante accidente nuclear severo (Chernóbil, 1986)
Sistema nervioso central	>50.0 Sv	0 – 3	Igual que el gastrointestinal + ataxia, edema, vasculitis sistémica, meningitis	>833,300 estudios	Exposición letal inmediata en el núcleo del reactor sin protección

Bushong, S. C. (2013). Manual de radiología para técnicos: Física, biología y protección radiológica (10ª ed.). Elsevier.

Información generada con asistencia de ChatGPT y revisada por el autor

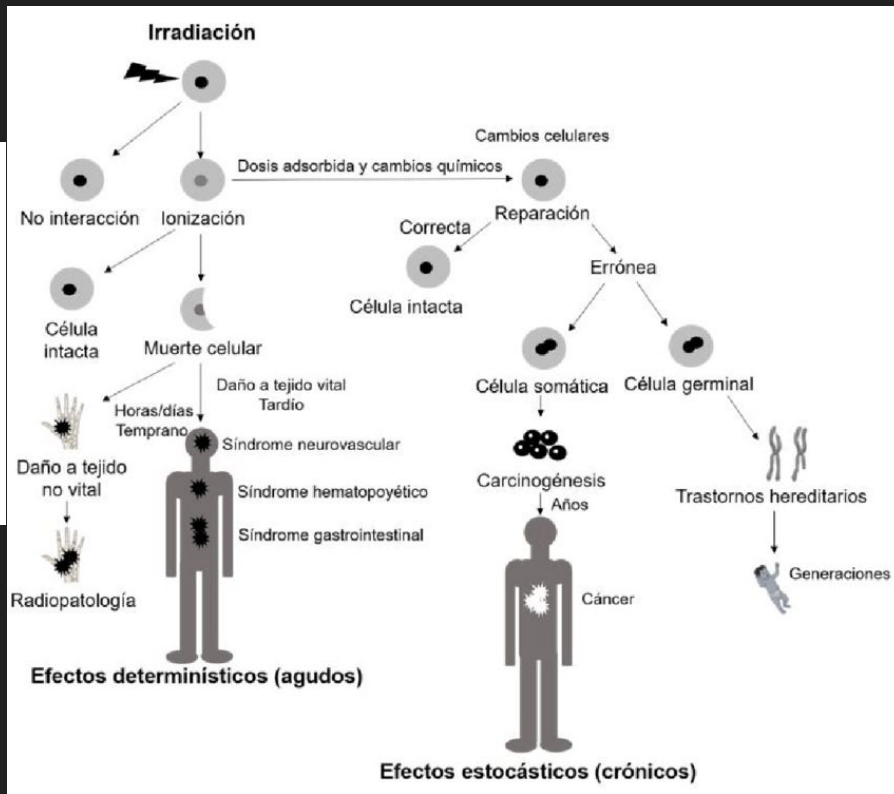
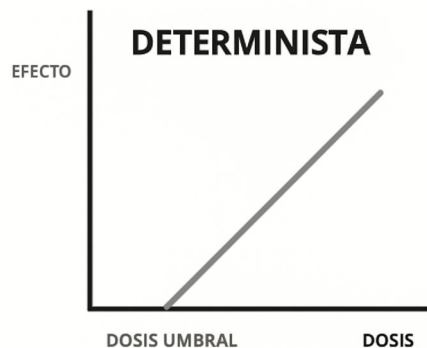
CONSECUENCIAS DE LA RADIACIÓN

EXPOSICIÓN ≈ 1 Gy	PERÍODO PRODRÓMICO	PERÍODO DE LATENCIA	ENFERMEDAD MANIFIESTA
Accidente nuclear, radioterapia médica, eventos de terrorismo, <i>fluoroscopia</i> .	1 - 2 días	Semanas (1-5 Gy) Horas (50 Gy)	
	NÁUSEAS VÓMITOS DIARREAS LEUCOPENIA	4 semanas	SINDROME DE MUERTE. HEMATOLOGICA 2-10 Gy Recuperación SI, 2-4 semanas a seis meses.
		3-5 días	SINDROME DE MUERTE GASTROINTESTINAL 10-50 Gy Recuperación NO
		12 horas	SINDROME DE MUERTE NEUROLÓGICA 50+ Gy Recuperación NO

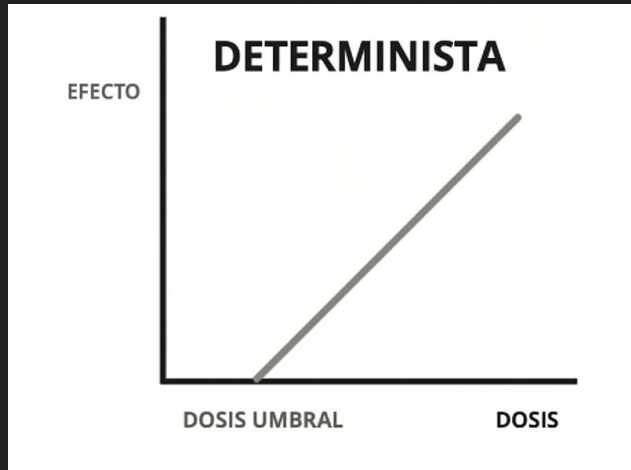
CONSECUENCIAS DE LA RADIACIÓN

- Efectos deterministas (reacciones tisulares nocivas) debidos principalmente a la muerte/defectos en el funcionamiento de las células tras DOSIS elevadas.
- Efectos estocásticos, es decir, cáncer y efectos heredables implicando, bien el desarrollo de cáncer en los individuos expuestos debido a la mutación de células somáticas o una enfermedad heredable en su progenie debido a la mutación en células reproductoras (germinales).
- Existen efectos de aparición tardía que no son estocásticos si no determinísticos como las cataratas, necrosis tisular y esterilidad debido a que su aparición requiere una dosis umbral.

CONSECUENCIAS DE LA RADIACIÓN



CONSECUENCIAS DE LA RADIACIÓN



S. Muerte Hematológica 2-10 Gy

S. Muerte Gastrointestinal 10-50 Gy

S. Muerte SNC 50+ Gy

Cataratas 0.5-2 Gy

Fibrosis 10-12 Gy

Esterilidad 0.15-6 Gy

Osteoradionecrosis 50+ Gy

Necrosis tisular 25-30+ Gy

CONSECUENCIAS DE LA RADIACIÓN

EFFECTO DETERMINISTA TARDÍO	DOSIS UMBRAL ESTIMADA (Gy)	DESCRIPCIÓN / OBSERVACIONES	TRATAMIENTO / EVENTO / FUENTE PROBABLE
Cataratas (lente ocular)	0.5 – 2 Gy	Opacidad del cristalino, puede ser progresiva.	Radioterapia craneal, intervenciones fluoroscópicas prolongadas
Fibrosis	10 – 12 Gy	Engrosamiento y pérdida de elasticidad del tejido conectivo.	Radioterapia (cáncer de mama, cabeza y cuello)
Necrosis tisular	25 – 30 Gy	Muerte irreversible del tejido irradiado.	Radioterapia mal planificada o sobredosisación local
Esterilidad temporal (hombres)	0.15 – 0.2 Gy	Azoospermia reversible.	Radioterapia pélvica, exposición accidental moderada
Esterilidad permanente (hombres)	>3.5 – 6 Gy	Daño irreversible a las células germinales.	Radioterapia testicular, accidentes nucleares
Esterilidad (mujeres)	2 – 3 Gy (edad-dependiente)	Mayor sensibilidad en mujeres jóvenes.	Radioterapia abdominopélvica
Radionecrosis ósea	>50 Gy (localizado)	Necrosis en huesos como mandíbula o pelvis.	Radioterapia de cabeza/cuello, braquiterapia
Radiodermatitis crónica	10 – 20 Gy acumulada	Telangiectasias, ulceraciones, piel endurecida o atrófica.	Fluoroscopias repetidas, procedimientos cardíacos intervencionistas
Mielopatía (médula espinal)	50 – 70 Gy (local)	Parálisis irreversible por daño a la médula.	Radioterapia torácica o cervical cercana a la médula espinal

Información generada

CONSECUENCIAS DE LA RADIACIÓN

Dosis absorbida (mGy)	Sistema afectado	Síntomas clínicos	Riesgo de muerte
100 – 500	Médula ósea (hematopoyético)	Disminución de glóbulos blancos, náuseas, fatiga, infección	Bajo si hay tratamiento
500 – 1000	Hematopoyético	Síndrome hematopoyético completo: fiebre, sangrados, infecciones	Moderado (10–50%)
1000 – 2000	Sistema gastrointestinal	Náuseas severas, vómitos, diarrea, deshidratación	Elevado sin soporte médico
2000 – 4000	Gastrointestinal / Hematopoyético	Síndrome GI severo, necrosis intestinal, sepsis	Alto (>50%)
> 4000	Sistema cardiovascular / nervioso	Convulsiones, colapso, edema cerebral, coma	Muy alto (>90–100%) en días
3000 – 6000 (local)	Piel	Eritema, depilación, descamación seca o húmeda	No aplica
6000 – 10000 (local)	Piel	Necrosis, ulceración	No aplica
500 – 1000 (local)	Cristalino del ojo	Catarata radiogénica (latente)	No aplica
300 – 800 (in útero)	Sistema nervioso del feto	Retardo mental, malformaciones (semana 8–15)	No inmediato, riesgo futuro
> 1000 (in útero)	Desarrollo fetal	Aborto espontáneo (dosis temprana)	Posible

Evento / Condición	Contexto	Dosis absorbida (mGy)
Exposición nuclear	Guerra / Terrorismo	>4000 (cuerpo entero)
Fuga en reactor (ej. Chernóbil)	Nuclear civil	1000 – 16000
Radioterapia mal aplicada	Medicina	2000 – 10000 (local)
Errores en fluoroscopia prolongada	Diagnóstico / Intervencionismo	2000 – 5000 (piel)
Exposición ocupacional accidental	Laboratorio / Industria	500 – 3000 (segmentario)
Goiânia (fuente Cs-137)	Pérdida de fuente radiactiva	1000 – 6000
Terapia intraoperatoria mal controlada	Medicina	>10,000 (órgano)
PET/CT sin indicación en embarazada	Diagnóstico	100 – 500 (feto)
Irradiación de testículos sin blindaje	Ocupacional / error	500 – 1000
Radiación en terroristas con fuente "sucia"	Intencional	1000 – 4000

CONSECUENCIAS DE LA RADIACIÓN

Evento	Lugar	Dosis estimada (Gy / mSv)	Consecuencias principales
Bombas atómicas	Hiroshima y Nagasaki (1945)	1–4 Gy (a ≤ 2 km del epicentro)	Quemaduras, leucemia, otros cánceres, muertes agudas por síndrome de irradiación aguda.
Accidente de Chernóbil	Prípiat, Ucrania (1986)	0.25–16 Gy (liquidadores)	31 muertes agudas, miles de casos de cáncer tiroideo, contaminación ambiental extensa.
Accidente de Fukushima	Japón (2011)	< 0.1 Gy (≈ 100 mSv trabajadores expuestos)	Ninguna muerte por síndrome agudo, evacuaciones masivas, aumento en vigilancia médica.
Accidente de Goiania	Brasil (1987)	1–7 Gy (casos fatales), hasta 1000 mSv (otros)	4 muertes, más de 100 personas contaminadas, extensa descontaminación urbana.
Accidente de Kyshtym (Mayak)	Rusia (1957)	> 1 Gy (zonas cercanas)	Enfermedad por radiación aguda en cientos, evacuación, contaminación de ríos y suelos.
Radioterapia mal calibrada	Costa Rica (1996)	4.0–7.0 Gy (sobredosisificación)	Al menos 13 muertes, más de 100 personas con lesiones graves por error médico.
Experimentos médicos en Utah	EE.UU. (1953–1960s)	100–500 mSv (estimado, niños con tiroides)	Aumento de cáncer de tiroides en poblaciones cercanas a pruebas nucleares.
Incidente en Tokaimura	Japón (1999)	17 y 10 Gy (dos técnicos), 3 mSv (población)	Dos muertes, exposición accidental en planta de enriquecimiento de uranio.

Información generada con asistencia de ChatGPT y revisada por el autor.

CONSECUENCIAS DE LA RADIACIÓN



Tabla de Comparación de Dosis en Estudios Radiográficos Dentales

Tipo de Estudio	Dosis Absorbida (mGy)	Dosis Efectiva (mSv)	N° Est. Aproximado para Alcanzar Riesgo Potencial (>100 mSv)
Radiografía Periapical	0.001 – 0.005 mGy	0.001 – 0.005 mSv	20,000 – 100,000 exposiciones
Radiografía Panorámica	0.01 – 0.03 mGy	0.004 – 0.030 mSv	3,300 – 25,000 exposiciones
Radiografía Lateral (Cefálica)	0.002 – 0.01 mGy	0.002 – 0.01 mSv	10,000 – 50,000 exposiciones
CBCT Dental (campo limitado)	0.1 – 0.3 mGy	0.02 – 0.2 mSv	500 – 5,000 exploraciones

Información generada con asistencia de ChatGPT y revisada por el autor.

CONSECUENCIAS DE LA RADIACIÓN

- En el caso del cáncer, los estudios epidemiológicos y experimentales proporcionan evidencia del riesgo de la radiación a dosis de alrededor de 100 mSv o menores aunque con incertidumbres. En el caso de enfermedades heredables, aunque no existe evidencia directa de los riesgos de la radiación en las personas, las observaciones experimentales argumentan convincentemente que esos riesgos para las futuras generaciones deberían estar incluidos en el sistema de protección.

CONCLUSIONES

- Los rayos X son producto de la aceleración e impacto de electrones dentro del cabezal.
- Los rayos X son partículas cargadas con energía (menor longitud de onda que la luz visible) lo que les confiere las características de penetración, ionización, efectos fotográficos/luminiscentes y la probabilidad de causar efectos biológicos.
- Las dos interacciones más importantes de los rayos X con la materia son el efecto fotoeléctrico y el efecto Compton, siendo el efecto fotoeléctrico el responsable de la formación de la imagen radiográfica y el segundo el responsable de la radiación dispersa.

CONCLUSIONES

- Los pilares fundamentales de la protección radiológica son el tiempo, la distancia y el blindaje.
- Las consecuencias de la exposición a radiaciones se pueden dividir según su temporalidad en inmediatos o tardíos, y según la presencia de dosis umbral en determinísticos y estocásticos.
- En radiología oral las dosis son mínimas por lo que su ejercicio es seguro para el paciente y para el operador.