

¿QUE OCURRE CUANDO LOS FOTONES INCIDEN SOBRE ALGÚN MATERIAL?

1. LO QUE LES PUEDE OCURRIR A LOS FOTONES ES:

Cualquier fotón al ponerse en contacto con un medio material puede:

A) Atravesar ese material sin sufrir ninguna alteración en su recorrido, en cuyo caso decimos que el fotón ha PENETRADO el material.

B) Colisionar con los átomos del medio en cuyo caso decimos que el fotón ha INTERACCIONADO con el material y se van a producir uno o ambos de estos dos fenómenos:

- ABSORCIÓN cuando *el fotón cede toda o parte de su energía al medio material* con el que entra en contacto.
- DISPERSIÓN cuando *el fotón inicial queda desviado de su trayectoria* recta debido a las colisiones con los átomos del medio material.

Los fenómenos de absorción y dispersión suelen ocurrir simultáneamente al incidir el haz en un medio material, y decimos que, como consecuencia de cualquiera de ellos, el haz inicial sufre una ATENUACIÓN, es decir, *disminuye la cantidad de radiación que atraviesa el medio* de tal manera que el haz emergente es menor en número de fotones que el incidente. Por ejemplo cuando la luz atraviesa un papel sufre una atenuación.

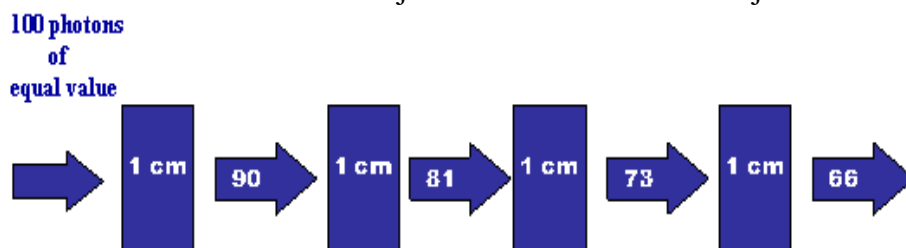
$$\text{ABSORCIÓN} + \text{DISPERSIÓN} = \text{ATENUACIÓN}$$

La atenuación, o cantidad de radiación perdida al atravesar el medio material, que sufre el haz incidente es la suma de los rayos x absorbidos y los dispersados.

¿De qué depende la atenuación o pérdida en el número de ondas que va a sufrir un haz de ondas electromagnéticas al atravesar un medio material?

- De la **energía de las ondas**:
Cuanto menor es su energía, mayor es la atenuación
- Del **tipo de material** que debe atravesar:
Es decir, *de la densidad de masa y número atómico de los átomos constituyentes del mismo, cuanto mayor sea el valor de estos, mayor será la atenuación*. En función del valor de la densidad de masa y del nº atómico de los materiales se les asigna un determinado valor o **Coefficiente de atenuación lineal**, que es por tanto específico de cada material.
- Del **espesor** del material:
A mayor espesor, mayor atenuación

El CAL de este tejido es de un 10% /cm de tejido

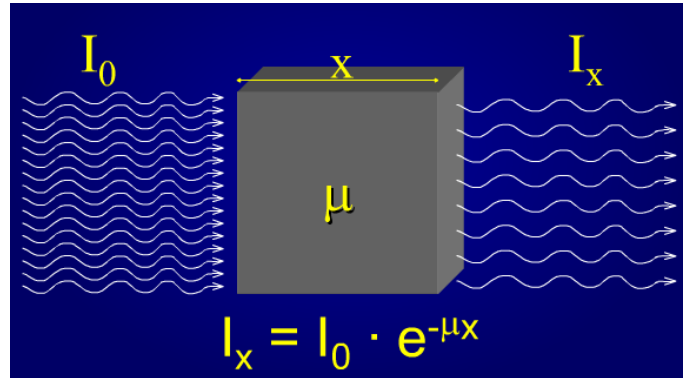


Podemos clasificar los materiales en función de la atenuación que sufre un haz al atravesarlos debido a las diferencias en los valores de sus coeficientes de atenuación lineal (CAL), es decir, según las diferencias entre los números atómicos de los átomos que los integran y a la densidad atómica de cada material.

Existe una fórmula matemática conocida como "ley de la atenuación":

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}$$

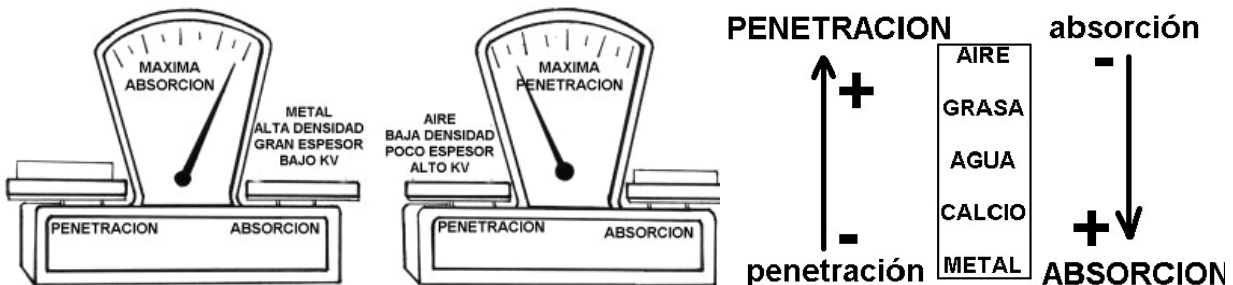
I = valor de la intensidad final del haz
 I_0 = valor de la intensidad inicial del haz
 $I_0 - I$ = Atenuación
 e = número base del sistema logarítmico natural cuyo valor es 2,71
 μ = **coeficiente de atenuación lineal**
 x = espesor del medio material



Así, un material puede ser:

- Más o menos **transparente** incluye aquellos materiales con **valores bajos de CAL** y en ellos **los fotones son transmitidos** y atraviesan casi todos el medio material. Por ejemplo cuando la luz atraviesa un cristal.
- Más o menos **opaco** incluye aquellos materiales con **valores altos de CAL**, y en ellos **los fotones son absorbidos** en gran medida, es decir, la energía de las ondas se queda en el objeto y se libera en forma de calor. Por ejemplo cuando la luz visible debe atravesar un muro de piedra; en radiología, el metal y, aunque menos, el hueso son elementos radiopacos.

De esta clasificación se extraen las 5 densidades básicas que podemos distinguir en radiología convencional al interactuar los rayos x con tejidos del mismo grosor.



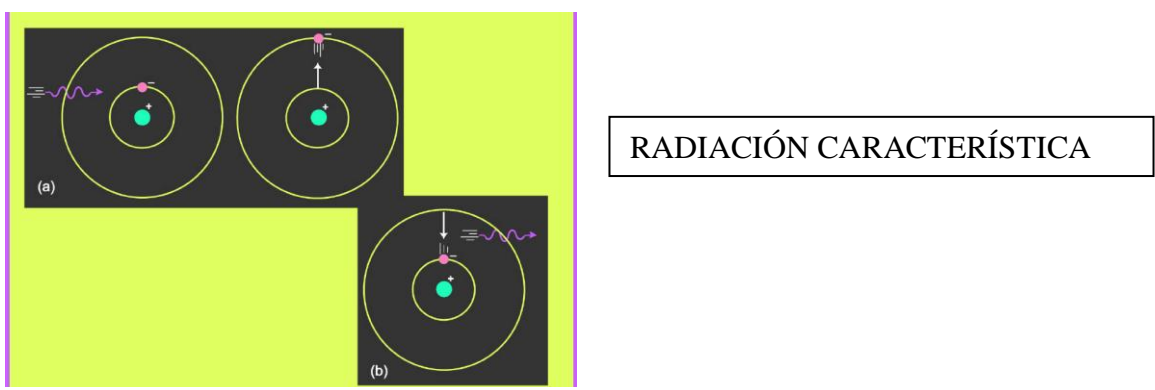
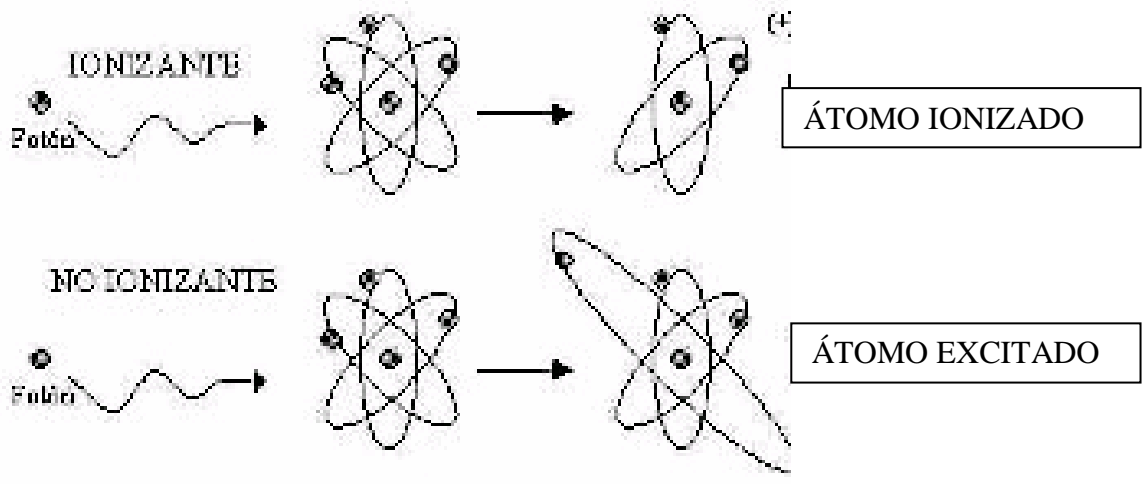
2. LO QUE LES PUEDE OCURRIR A LOS ÁTOMOS ES:

La absorción de energía por parte de los elementos atómicos de los materiales como consecuencia de las colisiones con fotones siempre va a dar lugar a uno de estos 2 fenómenos: **ionización o excitación**.

A) En el caso de la ionización, la energía del fotón se consume en **liberar o arrancar** al electrón **orbital**, al vencer su energía de ligadura, y dotarle de energía cinética, quedando de esta manera el **átomo inestable** y tenderá a volver a su situación de estabilidad. **Este fenómeno solo lo producen las radiaciones electromagnéticas que sean ionizantes**, es decir, **rayos x y gamma**.

B) En el caso de la excitación, la energía se consume al **desplazar** un electrón de una capa a otra posición más externa **sin llegar a arrancarlo**, al no poder vencer su energía de ligadura, de esta manera el **átomo queda inestable** y tiende a volver a su situación inicial liberando de nuevo la energía que previamente había absorbido. Este fenómeno lo producen tanto las radiaciones electromagnéticas ionizantes como las no ionizantes.

En ambos casos, **el átomo queda inestable** y va a volver a su situación de estabilidad mediante la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas, es la denominada **radiación característica**, ya que **el valor de su energía es específica del tipo de átomo**, así, si la emisión está dentro del espectro de la luz visible se producirá fluorescencia, si está dentro del espectro infrarrojo se producirá calor, igualmente pueden emitirse rayos x, etc.



LEY DE LA INVERSA DEL CUADRADO

Debemos tener en cuenta que cualquier haz de ondas electromagnéticas, como los rayos x o los rayos gamma, va a seguir una **dirección recta y divergente desde su punto de producción**, es decir, se desplaza de tal manera que los fotones que lo integran se van alejando unos de otros a medida que se separan de la fuente de origen, esto implica que **la intensidad (cantidad/superficie) de la radiación disminuye a medida que aumenta la distancia desde la fuente que la emite** (pensemos en un libro que leemos junto a un flexo de luz, a medida que nos alejamos de la luz, la página se oscurece).

Matemáticamente esta relación entre la intensidad de la radiación y la distancia se conoce como **ley del inverso del cuadrado** y dice que **la intensidad de la radiación en un punto es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el punto y la fuente**.

$$\frac{I_{nueva}}{I_{inicial}} = \frac{d^2_{inicial}}{d^2_{nueva}}$$

Esta fórmula se puede aplicar para conocer la intensidad de la radiación cuando hemos cambiado la distancia desde la fuente

Esto significa que si un haz de radiación que se encuentra a una distancia d desde el tubo hasta un objeto de referencia, tiene una intensidad I, medida en dicho objeto, cuando se aumenta la distancia al doble por alejar el objeto de referencia, la intensidad de la radiación, medida de nuevo en el lugar del objeto, se habrá reducido a la cuarta parte. Mientras que si se aleja el objeto a una distancia el triple de la original, la intensidad se habrá reducido a la novena parte de la original, y así sucesivamente. Lo contrario ocurrirá en el caso de que el objeto se acerque al tubo.

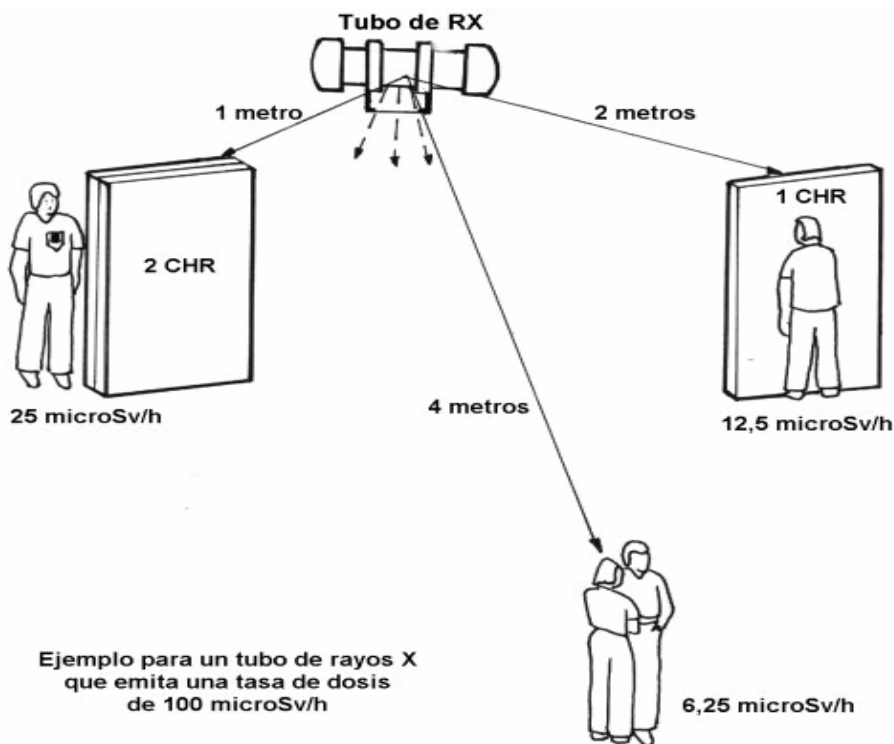
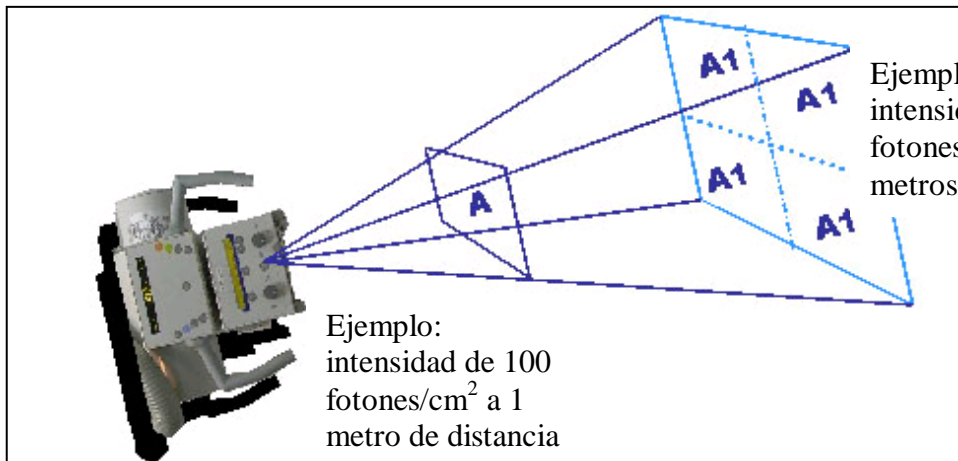
De esta ley de la inversa de los cuadrados podemos sacar **dos conclusiones básicas**:

- **Siempre que modifiquemos la distancia entre el tubo y el paciente deberemos reajustar los factores de exposición si queremos obtener la misma densidad en la imagen**, concretamente el valor del **mAs** ya que es directamente proporcional a la intensidad de la radiación. Para seleccionar este reajuste aplicamos la siguiente fórmula:

$$\frac{mAs \text{ nuevo}}{mAs \text{ inicial}} = \frac{distancia \text{ nueva}^2}{distancia \text{ inicial}^2}$$

Cuando trabajamos con el exposímetro automático este ajuste lo realiza el propio equipo, no ocurre así en las radiografías en directo.

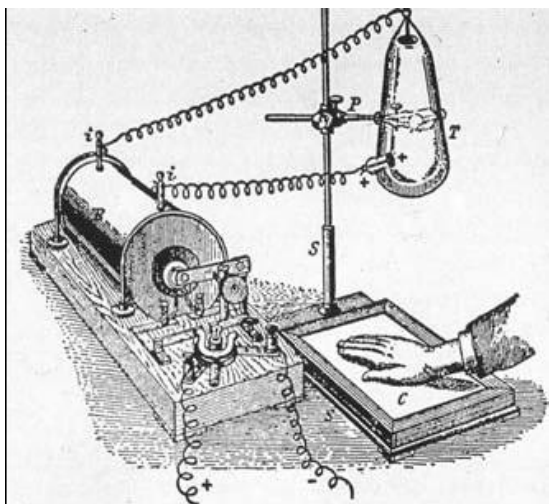
- Debido a la disminución de la intensidad de la radiación a medida que aumentamos la distancia se deduce que **la primera norma de protección** ante una fuente radiactiva es **mantenernos lo más alejados posible de ella**.



DESCUBRIMIENTO DE LOS RAYOS X

Los físicos de la década 1880-1890 investigaban la conducción de electrones a través de grandes tubos en los que se había hecho el vacío, eran los llamados **tubos de rayos catódicos o tubos de Crookes**.

El 8 de noviembre de 1895 el físico Roentgen se encontraba trabajando con uno de estos tubos. Había oscurecido su laboratorio y rodeado el tubo de Crookes con una cartulina negra para evitar la salida al exterior de cualquier posible radiación y ver mejor el efecto de los rayos catódicos en el tubo. Por casualidad se encontraba en una estantería, a pocos pies de distancia del tubo, una placa cubierta con una sustancia fluorescente (platinocianuro de bario) que comenzó a emitir luz pese a que el papel impedía la salida de luz visible procedente del tubo, y a pesar de la distancia que separaba la placa del tubo. La intensidad de la fluorescencia aumentó al acercar la placa al tubo. Recordemos que la fluorescencia es la propiedad que poseen algunos materiales capaces de absorber y emitir luz.



Roentgen dedujo del fenómeno observado que el tubo emitía algún tipo de "luz" que denominó "luz X". Posteriormente continuó con sus investigaciones comprobando que esta luz X era capaz de atravesar la materia al interponer objetos entre el tubo y la placa, y observar que se mantenía la fluorescencia, excepto si interponía plomo. Probó también a cambiar la placa fluorescente por una película fotográfica observando que ésta era impresionada. Comprendió el valor que el descubrimiento de esta "luz X penetrante" podía suponer para la medicina e incluso realizó y publicó la primera radiografía de la historia correspondiente a la mano de su esposa.

Roentgen recibió el premio Nobel de física en 1901.

Posteriormente, en 1913, continuaron las investigaciones y los primitivos tubos de Crookes fueron

sustituidos por el tubo de Coolidge que consiguió un tubo de vacío muy similar a los utilizados actualmente.

APLICACION MEDICA DE LOS RAYOS X CON FINES DIAGNÓSTICOS

Los principales tipos de estudios para el diagnóstico médico mediante el empleo de rayos X son:

- a) **Exploraciones de radiología convencional** que incluye:
 - La obtención de **radiografías** : nos proporciona imágenes bidimensionales que pueden ser obtenidas con tecnología analógica o digital, es decir, en película o en la pantalla de un ordenador y almacenable en su disco duro. Son **imágenes estáticas**.
 - La aplicación de **fluoroscopia** que nos proporciona imágenes de estructuras y órganos en movimiento o **imágenes dinámicas** que son observadas a través de un monitor de televisión, fluoroscopia analógica, o en la pantalla de un ordenador, fluoroscopia digital.
- b) **Exploraciones de Tomografía Computerizada** que utiliza exclusivamente tecnología digital como forma de obtención y almacenamiento de imágenes.
- c) **Otras:** densitometría ósea

Debido a la actual legislación y a la aplicación correcta de las medidas de seguridad en los Servicios de Radiodiagnóstico se considera que la utilización profesional de los equipos radiológicos es **una ocupación completamente segura**. Así, es sencillo minimizar la exposición del Técnico y del propio paciente si se conocen y comprenden la utilidad y el manejo de los dispositivos radiográficos y fluoroscópicos diseñados para ese fin.

En general deberán tomarse las medidas necesarias para **evitar repetir** una radiografía por un fallo técnico ya que ello supone someter al paciente al doble de la radiación necesaria.

Igualmente antes de solicitar un estudio radiológico el personal médico, que es el que prescribe y solicita las exploraciones, debe **valorar su necesidad** ya que estos solo deben realizarse por un **motivo justificado**. Así por ejemplo no están justificados, aunque sí lo estuvieron en épocas pasadas, los estudios radiológicos realizados a pacientes asintomáticos (salvo en mamografía) con fines preventivos.

RADIACIONES NO IONIZANTES

Dentro del concepto de **radiaciones no ionizantes** incluimos todas aquellas ondas electromagnéticas que, al interactuar con la materia, **no poseen suficiente energía como para arrancar electrones de sus átomos**. Este grupo incluye a las radiaciones ultravioletas, luz visible, infrarrojo, microondas y radiofrecuencia, sin embargo nos vamos a referir aquí a las **especiales características de los haces de rayos láser de ondas electromagnéticas**.

RADIACIÓN LÁSER



Se trata de un **haz de ondas electromagnéticas, pertenecientes al espectro infrarrojo o bien al visible** (con frecuencia al rojo), **o bien al ultravioleta**, que tiene unas especiales características como son:

- Ser **monocromático**, es decir, que todos los rayos del haz tienen la **misma longitud de onda**
- Presentar **coherencia de fase** por emitirse todas las ondas en el mismo momento, es decir, que están en fase lo que les permite transportar una enorme cantidad de energía electromagnética.
- Ser **direccional**, es decir, se transmite sin **penas divergencia** por lo que puede ser **focalizado**.
- Ser **muy brillante** por contener gran cantidad de fotones, **alta densidad fotónica**.

Tipos de láser según los efectos biológicos:

Los efectos biológicos del haz láser son los mismos que los del infrarrojo, visible o ultravioleta, según al segmento al que pertenezca el haz, aunque **son especialmente intensos debido a sus propiedades** (coherencia, monocromatismo, alta densidad, direccionalidad). Los órganos que pueden resultar dañados en una exposición accidental son fundamentalmente **los ojos y la piel**. La gravedad de la lesión dependerá de la longitud de onda y energía del láser, y del tiempo de exposición.

Según su peligrosidad se clasifican los láseres en 4 grupos:

Clase 1 se consideran inocuos.

Clase 2 son láseres de **baja potencia**, pueden ser peligrosos si se mantiene la visión directa del haz durante periodos de tiempo prolongados.

Clase 3 son láseres de **potencia media**, se subclasifican en: clase 3a que puede provocar lesiones oculares aunque no en la visión momentánea directa; clase 3b provocan daño en la visión directa o en la reflexión especular.

Clase 4 son láseres de **alta potencia** que pueden producir lesiones oculares, lesiones en piel y, con su utilización existe el peligro de incendio y explosión.

Aplicaciones de láser:

Las fuentes artificiales productoras de láser son utilizadas en muchas aplicaciones como los sistemas de comunicación vía satélite, lectura de CD y DVD, televisión por cable, lectura de códigos de barras, memorias de ordenadores e impresoras, etc. En medicina se utilizan para fotocoagulación de vasos sanguíneos, como instrumento de corte en cirugía, etc.

En radiología digital, se utiliza un haz láser para la lectura del código de barras del volante, asignación de chasis CR, posicionamiento de la bandeja y, **en los equipos CR el procesamiento de la imagen se realiza mediante la emisión de un haz láser de la clase 3 b que escanea la placa de almacenamiento de fósforo**.

Medidas de protección con rayos láser:

Las medidas de protección en el caso de láseres de la clase 1 y 2 se limitan a no permitir a ninguna persona fijar la mirada en el haz directo y no dirigir el haz hacia los ojos. En los de **clase 3 evitaremos la llegada al ojo ya que le causaría lesiones graves por lo que se manejarán con gafas, por personal experimentado y autorizado**, y en locales señalizados. Los láseres de clase 4 requieren, además de lo anterior, cierre de puertas que no puedan abrirse desde el exterior, filtros protectores, y sistemas de disparo a distancia de la fuente

CONCEPTO DE RAYOS X

Los rayos X son fotones cargados de energía (cuantos), sin carga ni masa, que viajan describiendo un movimiento ondulatorio y a la velocidad de la luz por lo que están incluidos dentro de las ondas electromagnéticas.

Si observamos el espectro de ondas electromagnéticas, los rayos X ocupan el lugar entre los rayos ultravioletas, y los rayos gamma, tienen una longitud de onda muy pequeña (10^{-9} m), su frecuencia es muy elevada (10^{17} hertzios) y tienen energías de unos 10^5 electronvoltio (eV) (100 KeV).

A diferencia de la luz visible, los rayos X **no pueden ser reflejados por lentes o aparatos similares**, es decir, **no tienen difracción**.

PRODUCCIÓN DE RAYOS X

Los rayos X se producen cuando electrones, animados de una elevada velocidad y con suficiente energía, chocan contra un obstáculo.

La mayor parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor, pero una mínima parte de esta energía que no llega al 1% se transforma en rayos X.

Estos fenómenos necesarios para la producción de rayos X tienen lugar en el tubo. Así, en el tubo de rayos x existe:

- Una fuente productora de electrones o **cátodo** que emite estos al ponerse incandescente debido al paso de una corriente eléctrica. La incandescencia del cátodo y por tanto la liberación de electrones depende del miliamperaje seleccionado.

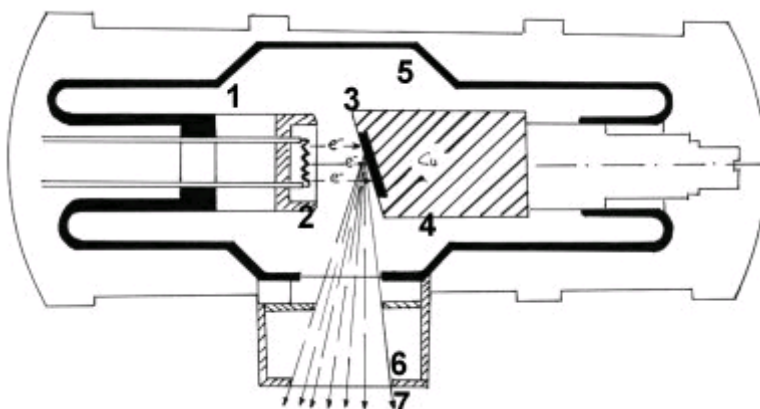
- Un dispositivo acelerador de electrones representado por una **fuerza de alto voltaje** que establece una gran diferencia de potencial entre cátodo y ánodo. La aceleración de los electrones dependerá del kilovoltaje seleccionado.

- Un **ambiente de vacío** en el cual los electrones son acelerados sin la interferencia de los átomos de gas.

- Un **ánodo** sobre el que chocan los electrones dando lugar a un haz de rayos X. La zona del ánodo donde chocan los electrones se denomina blanco o foco.

Todos estos elementos están rodeados de una **ampolla de vidrio cilíndrica**, herméticamente cerrada, al vacío y **rodeada de un recipiente blindado o calota** que solo deja una reducida abertura o ventanilla para el paso del haz de rayos X.

Debido a la gran cantidad de calor generado en el tubo durante la producción de los rayos x, éste debe disponer de un **sistema de refrigeración** que evite la sobrecarga excesiva, lo más utilizado para este fin es un baño de aceite entre la ampolla de vidrio y el blindaje que libera el calor acumulado en el tubo.



1. Ampolla-Estuche.
2. Cátodo.
3. Foco.
4. Anodo.
5. Vacío.
6. Diafragma.
7. Haz de rayos X.

PROPIEDADES DE LOS RAYOS X

Las propiedades que hacen que los rayos X sean de gran valor en la radiología diagnóstica y en la radioterapia son su capacidad para:

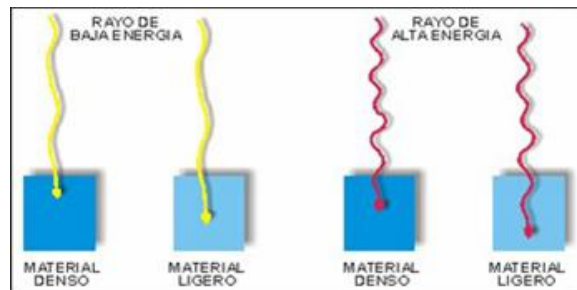
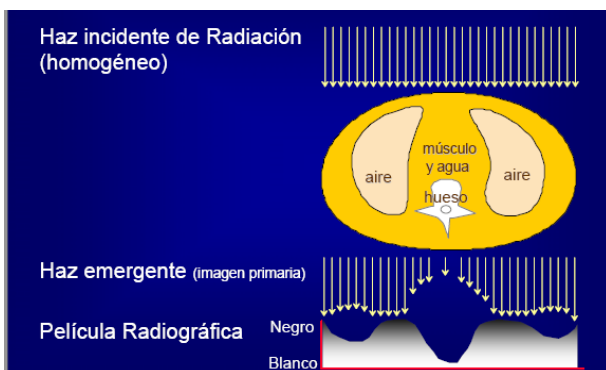
1- PENETRAR LA MATERIA:

Los rayos X son capaces de atravesar la materia, y esto lo hacen con mayor o menor dificultad dependiendo de:

- El kilovoltaje aplicado al tubo: ya que de él depende la "dureza" o valor energético de los rayos X producidos. Los más energéticos son los que atravesarán la materia con mayor facilidad.

- Densidad de masa y número atómico de los materiales que debe atravesar (coeficiente de atenuación lineal): ya que de ellos va a depender su capacidad para absorber los rayos X. En función de la capacidad de absorber los rayos X, pueden clasificarse los materiales en:

- **Materiales radiotransparentes**: son aquellos que son atravesados fácilmente por los rayos X sin absorber prácticamente ninguna radiación y aparecerán como **negros** en las radiografías una vez reveladas. Su **CAL es muy bajo**. Ejemplo característico: materiales que contienen **aire** (pulmón).
- **Materiales moderadamente radiotransparentes**: aparecerán como **grises oscuros** en las radiografías una vez reveladas. Ejemplo característico: **tejido adiposo o graso**.
- **Materiales intermedios propiamente dichos**: se incluyen aquí todo lo que se conoce como "**tejidos blandos**" que incluye el tejido conjuntivo, el muscular, vísceras en general, cartílago, epitelios, sangre, agua, etc. Todos ellos aparecerán como **grises** en las radiografías reveladas o **densidad agua**. Es en la posibilidad de diferenciación de estos tejidos donde más se ha avanzado con la incorporación de la radiografía digital, con el TAC y RMN, al tener una mayor resolución de contraste.
- **Materiales moderadamente radioopacos**: aparecerán como **grises claros** en las radiografías reveladas. Ejemplo característico: materiales que contienen **calcio, como los huesos**.
- **Materiales radioopacos**: son aquellos que absorben en grado considerable los rayos X escapando a su paso una escasa cantidad de radiación y aparecen como **blancos** en las radiografías reveladas. Su **CAL es alto**. Ejemplo característico: **metales pesados** (prótesis, **medios de contraste**).



En base a estas distintas posibilidades clásicamente se describen en radiología convencional **5 densidades básicas** que, de mayor a menor absorción son: **metal, hueso, agua, grasa y aire**.

- Espesor del tejido atravesado: para un mismo tipo de material, cuanto mayor sea el espesor de éste, mayor será la dificultad de los rayos X para atravesarlo. Los tejidos blandos, aunque corresponden radiológicamente a un mismo tipo de material, podemos distinguir unos tejidos de otros por sus distintos espesores.

2- PRODUCIR CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA ATÓMICA:

En los **receptores analógicos**, los rayos X al igual que los rayos visibles y los ultravioletas, **son capaces de provocar reacciones químicas en las emulsiones de las películas fotográficas** de tal forma que estas son portadoras de una imagen latente que, una vez revelada, fijada y lavada adecuadamente, reproduce una imagen permanente.

En los **sistemas digitales indirectos o CR**, sobre la placa de almacenamiento de fósforo en las zonas donde inciden los rayos x, **los electrones quedan atrapados en trampas** lo que da lugar a la formación de una imagen latente.

En los **sistemas digitales directos o flat panel**, la energía de los rayos x al incidir sobre cada píxel se transforma en una señal eléctrica, directamente en el caso de los detectores de selenio, o indirectamente ya que primero se transforma en luz y luego en señal eléctrica en los detectores de silicio.

3- PRODUCIR UN EFECTO FLUORESCENTE:

Algunos materiales como el tungstenato de calcio, o el fluorocloruro de bario, sulfuro de cadmio, etc, **emiten luz tras la exposición a los rayos x.**

Ello es debido a que la radiación característica liberada tras la acción de un estímulo energético, como por ejemplo los rayos x, son ondas electromagnéticas que pertenecen al espectro visible (fluorescencia verde, azul, etc).

Cuando este efecto se produce **solo mientras está actuando el estímulo**, es decir, mientras se están disparando los rayos X, se habla de **fluorescencia**, pero **si el efecto continua después de actuar el estímulo, se denomina fosforescencia.**

Esta propiedad es aprovechada en los estudios fluoroscópicos, es la base de la utilización de las pantallas intensificadoras o reforzadoras (hojas de refuerzo), es aprovechada para la formación de la imagen en las pantallas de fósforo utilizadas en radiología digital y en los detectores flat panel de silicio.

4- PRODUCIR IONIZACIÓN:

Los rayos x son **radiaciones ionizantes** ya que **son capaces de arrancar electrones orbitales de los átomos.** El resultado de la ionización es siempre, por una parte electrones libres cargados negativamente y por otra iones cargados positivamente.

De todas las posibilidades de interacción de los rayos x con la materia, **siempre que el fotón de rayos x es absorbido**, como consecuencia de los choques, **sea total** (efecto fotoeléctrico) **o parcialmente** (efecto Compton) , **se puede producir una ionización de forma directa ya que en ambos casos el átomo pierde un electrón y además ambos efectos son el origen de la producción de otras ionizaciones indirectas debidas a las colisiones del electrón liberado o de los fotones característicos producidos con los electrones de otros átomos.**

Como consecuencia de las interacciones de los rayos x se va a producir un aumento de radicales libres debidos a la ionización de moléculas de agua, al ser la molécula más frecuente en nuestro organismo, lo que puede dar lugar a la aparición de otras consecuencias o lesiones indirectas

Los rayos x son sobre todo indirectamente ionizantes.

5- PRODUCIR EFECTOS BIOLÓGICOS:

Los rayos x son capaces de producir lesiones en los tejidos vivos precisamente por su propiedad ionizante.

Por tanto, **las radiaciones ionizantes (rayos X, gamma, etc) no son constructivas sino potencialmente dañinas.** Este hecho puede ser utilizado en el tratamiento de ciertas enfermedades, fundamentalmente tumores, como es el caso de su empleo en Radioterapia ya que con ellas podemos dañar las células enfermas y destruirlas, aunque dañaremos también las sanas. Sin embargo, **este efecto no es deseable en Radiología diagnóstica, aunque es inevitable.**

Por todo ello, toda aplicación de radiación, ya sea como rayos X, como rayos gamma u otra forma de radiación ionizante, debe tener unas indicaciones precisas y deben tomarse las medidas necesarias para disminuir al mínimo la exposición.

Consideraciones sobre los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes:

- Cuando se producen colisiones con los átomos de las células **la alteración de la estructura atómica** debida a la ionización o a la excitación **es inmediata**. El efecto que para la célula tiene de esta alteración puede ser reparado totalmente, parcialmente, o bien no ser reparado
- Sin embargo, **el tiempo** desde la exposición hasta la aparición del efecto biológico dependerá de la dosis inicial y del órgano radiado, y **puede variar desde minutos hasta años**, incluso puede no manifestarse hasta la descendencia.
- La acción lesiva de la radiación sobre la célula o tejidos **no es selectiva**, es decir, daña lo que aleatoriamente pilla.
- Las lesiones producidas por las radiaciones **son inespecíficas**, es decir, indistinguibles de esas mismas lesiones que pueden estar causadas por otros agentes.
- El efecto de las radiaciones sobre los tejidos vivos es **siempre lesivo o destructivo**
- Las lesiones pueden producirse **tanto a nivel local** (en el lugar donde incide la radiación) **como general** y además **son acumulativas**, es decir, los efectos lesivos de las radiaciones se añaden a los previos, ya que a las reparaciones parciales de la estructura celular y a las no reparadas, se añaden nuevas lesiones, por ejemplo, a partir de 500 mSv sobre el cristalino aparecen cataratas, igualmente a partir de cierta dosis puede producirse esterilidad (antes en los varones), envejecimiento prematuro, etc, por eso **los efectos de las radiaciones pueden mostrarse mucho tiempo después de haber recibido la dosis**.

Clasificación de los efectos biológicos producidos por las radiaciones ionizantes:

a) **Efectos probabilísticos o Estocásticos**, es decir, **son más frecuentes que aparezcan a medida que las dosis que recibe el paciente son mayores**, aunque pueden aparecer a cualquier dosis y **su gravedad es independiente** de la misma.

Suelen ser en general lesiones graves, siendo los ejemplos típicos de este tipo de efectos **las alteraciones genéticas** debidas a lesiones en las cadenas de DNA (que se manifestaran en la siguiente generación) **y la aparición de cánceres en cualquier localización** (leucemias los más típicos).

La aparición de estas lesiones no se puede predecir, pueden presentarse en un paciente que se ha realizado una única radiografía aunque los pacientes que reciben dosis mayores tienen más posibilidades de que estas aparezcan.

Estos efectos también se pueden dividir en:

- Genéticos como es el caso de las mutaciones (rotura de la cadena de DNA)
- Somáticos como las leucemias y tumores malignos en prácticamente cualquier órgano.

Si 1 millón de personas recibieran 10 mGy se producirían hasta 55 casos de leucemia en los 25 años siguientes.

b) **Efectos no probabilísticos o no estocásticos** que aparecen **siempre** a partir de determinadas dosis y **cuya gravedad depende** de la misma existiendo una **relación dosis-efecto**. Así:

- A partir de una determinada dosis llamada **dosis umbral**, distinta según la sensibilidad del tejido irradiado, aparecen lesiones en la piel (eritema, quemaduras, depilación, inflamación), en las células sanguíneas (anemia), disminución del número de espermatozoides, esterilidad, envejecimiento prematuro, cataratas, etc;
- Con dosis mayores aparecen, además de las anteriores, lesiones del aparato digestivo, y muerte en un alto porcentaje de casos;
- Con dosis mayores hay, además de las anteriores, afectación del sistema nervioso central y muerte en el 100% de los casos (más de 6 Gy).



Estos efectos **son siempre somáticos** y pueden aparecer, bien localmente (cataratas, depilación, etc) o bien afectar a todo el organismo cuando la exposición ha irradiado a muchas zonas del cuerpo como en casos de accidentes (explosiones nucleares de Hiroshima y Nagasaki, Chernobil, Clínico de Zaragoza, etc).

La dosis letal, es decir, aquella que produciría la muerte del 50% de los individuos irradiados es de **2-3 Gy (Gray)**

Estos efectos no deben aparecer con las dosis empleadas en radiología diagnóstica.

Con las dosis utilizadas en radiología diagnóstica **no deben aparecer efectos no estocásticos y, aunque es imposible eliminar totalmente la posible aparición de los efectos estocásticos, las medidas de protección** aplicadas tanto a los pacientes como al profesional expuesto (dosis menores posibles, protectores gonadales, de tiroides, dosimetría personal, etc) **van encaminadas a disminuir todo lo posible la probabilidad de que estos aparezcan.**

Muchos tejidos puede permitirse el lujo de perder algunas células sin comprometer su función, sin embargo, superado cierto valor o umbral, las células dañadas son ya suficientes para mostrar el efecto. A partir de entonces, a mayor dosis mayor el daño y mayor será el efecto. Igualmente, no todos los tejidos son igualmente sensibles al efecto nocivo de las radiaciones, así, **son más radiosensibles:**

- Los **tejidos con gran renovación celular** y por tanto con muchas **células en mitosis** que supone una exposición mayor de los cromosomas y de las cadenas de DNA, como es el caso del **tejido hematopoyético** (productor de las células sanguíneas, se encuentra en la médula ósea de los huesos), o un **embrión** de una madre gestante (fase de mórula, o blástula), o **la epidermis, el epitelio intestinal, las células gonadales (óvulos y espermatozoides) y las células cancerígenas.**

- Los **tejidos constituidos por células más inmaduras** como **las gónadas, testículos en los varones y ovarios en las mujeres**, que contienen las células germinales (espermatozoides y óvulos en fases inmaduras) y **las células cancerígenas.**

- Los **tejidos que deben mantener una cualidad especial** como es el **crystalino** que puede perder su transparencia debido a la aparición de cataratas.

- Les siguen a los anteriores otros tejidos también más sensibles como **el tiroides y las mamas.**

Debido a las características mencionadas, **las células nerviosas y las musculares son especialmente resistentes a las radiaciones.**

Para evitar o al menos minimizar el efecto nocivo de las radiaciones, es necesario **aplicar los PRINCIPIOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA:**

1. **Justificación** de la utilización de las radiaciones ionizantes
2. **Optimización** de la protección manteniendo la exposición tan baja como sea razonablemente alcanzable
3. **No superar los Límites de dosis establecidos para profesionales y público en general**

Las investigaciones actuales van dirigidas a disminuir o incluso a evitar su empleo, habiendo surgido ya técnicas que, como el intensificador de la imagen, reduce las dosis en fluoroscopia, o los ultrasonidos y las técnicas de RMN que ni siquiera las emplean.

TABLA I

Procedimiento diagnóstico	Dosis efectiva característica (mSv)	Nº equivalente Rx de tórax	Periodo equivalente aproximado de radiación natural de fondo
Rx extremidades	< 0.01	< 0.5	< 1.5 días
Tórax	0.02	1	3 días
Cráneo	0.07	3.5	11 días
Columna dorsal	0.7	35	4 meses
Columna lumbar	1.3	65	7 meses
Pelvis	0.7	35	4 meses
Abdomen	1.0	50	6 meses
Urografía i.v.	2.5	125	14 meses
Esofagograma	1.5	75	8 meses
EGDuodenal	3	150	16 meses
Enema opaco	7	350	3.2 años
TAC de craneo	2.3	115	1 año
TAC de tórax	8	400	3.6 años
TAC de abdomen	10	500	4.5 años

TABLA RESUMEN DEL PODER DE PENETRACIÓN SEGÚN EL TIPO DE MATERIAL

MATERIALES	DIFICULTAD DE SER ATRAVESADOS POR LOS RAYOS X	ABSORCIÓN DE RADIACIÓN	COLOR EN LAS IMÁGENES RADIOGRÁFICAS	VALOR DEL CAL	EJEMPLO
RADIOTRASPARENTES	Son fácilmente atravesados	Apenas absorben radiación	negros	bajo	aire
MODERADAMENTE RADIOTRASPARENTES	Relativa facilidad	Absorben poca radiación	Gris oscuros	Medio bajo	grasa
INTERMEDIOS PROPIAMENTE DICHOS	Cierta dificultad	Absorben una cierta cantidad de radiación	Gris intermedio	medio	Tejidos blandos
MODERADAMENTE RADIOOPACOS	Relativa dificultad	Absorben cantidades significativas de radiación	Gris claro	Medio alto	Hueso
RADIOOPACOS	Gran dificultad	Absorben casi toda la radiación que incide en ellos	Casi blancos	Alto	Metales (plomo)