BLOQUE 2
EQUIPOS DE TELETERAPIA

TEMA 6
EQUIPOS DE FORMACION DE IMAGEN

INDICE

6.1 - INSTALACIONES DE RADIODIAGNOSTICO

6.1.1 - Producción rayos x: Fundamentos de su uso para diagnóstico.

6.1.2 - Formación de la imagen radiológica.

6.1.3 - Uso del Radiodiagnóstico en los servicios de radioterapia.

6.2 - EQUIPOS DE FORMACION DE IMAGEN

6.2.1 - Imagen portal; Kilovoltaje; Megavoltaje; CBCT.

6.2.2 - Dispositivos electrónicos de formación de imagen portal (EPID).

6.3 - TRATAMIENTO RADIOTERÁPICO GUIADO POR IMAGEN

6.3.1 - RT guiada por imagen. IGRT

6.3.2 - Protocolos de IGRT

6.3.3 - Control respiratorio.

6.1 - INSTALACIONES DE RADIODIAGNOSTICO

RADIODIAGNÓSTICO

Conjunto de procedimientos de exploración y visualización de las estructuras anatómicas del interior del cuerpo humano mediante la utilización de rayos X.

Técnicas y procedimientos

RADIOLOGÍA CONVENCIONAL

- Fluoroscopia
- Mamografía
- Exploraciones dentales …

RADIOLOGÍA DIGITAL

- Tomografía computarizada (TC)
- Angiografía digital
- Radiografía digital convencional
- Radiología intervencionista

6.1.1 - Producción rayos x.: Fundamentos de su uso para diagnóstico.

EL HAZ DE RADIACIÓN. ESPECTRO DE RAYOS X

¿QUÉ SON LOS RAYOS X?

- Tipo de radiación electromagnética, invisible para el ojo humano.

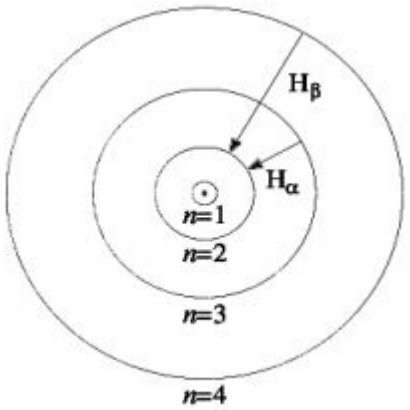
- Origen nuclear.

- Longitud de onda → 10nm hasta 0,01nm

  A < longitud onda > energía.

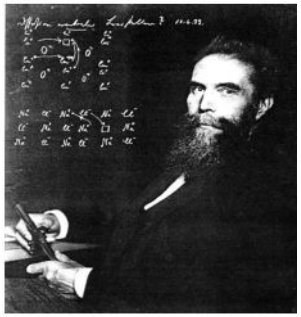
- Rayos X "duros y blandos".

- Transiciones de e- internas.



DESCUBRIMIENTO RAYOS X

Röentgen → 1895.

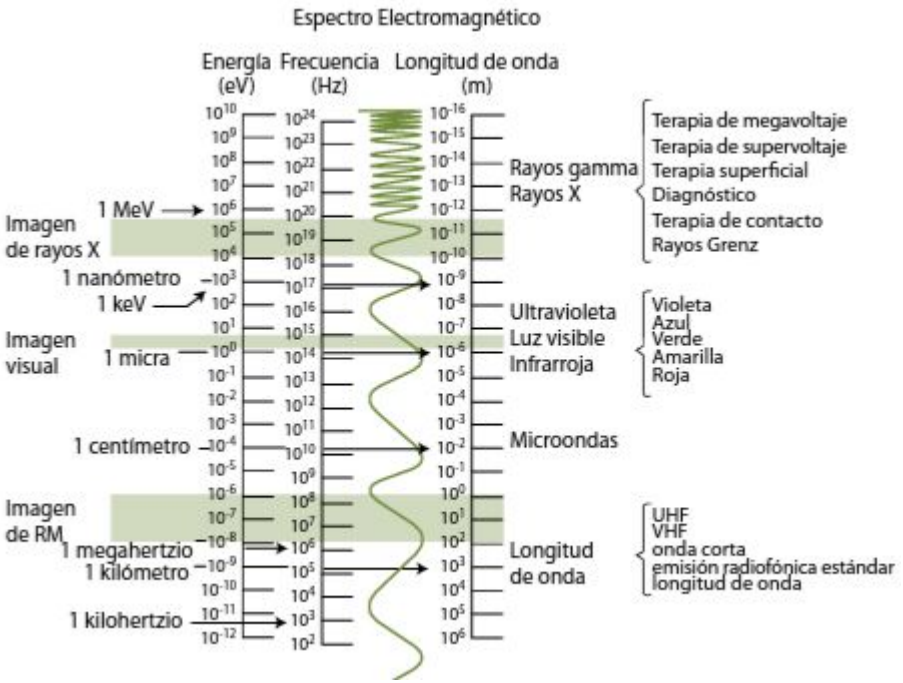


PROPIEDADES DE LOS RAYOS X

- ✔Penetran y atraviesan la materia
- ✔Fluorescencia
- ✔efectos biológicos
- ✔Ionizan los gases
- ✔Impresionan películas fotográficas
- ✔línea recta
- ✔Se atenúan con la distancia

ESPECTRO DE RAYOS X

Representación gráfica de la distribución del haz

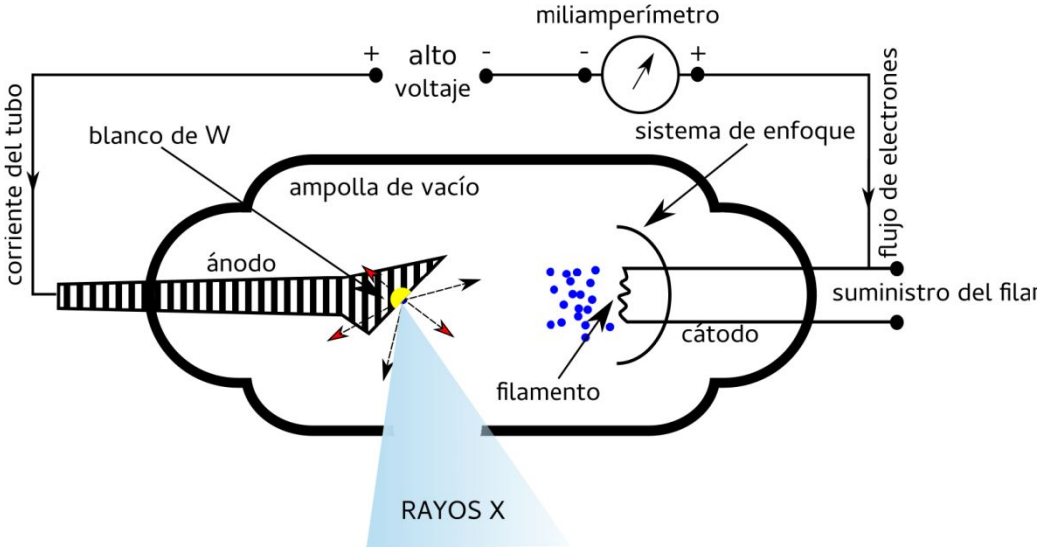


En él se superponen …

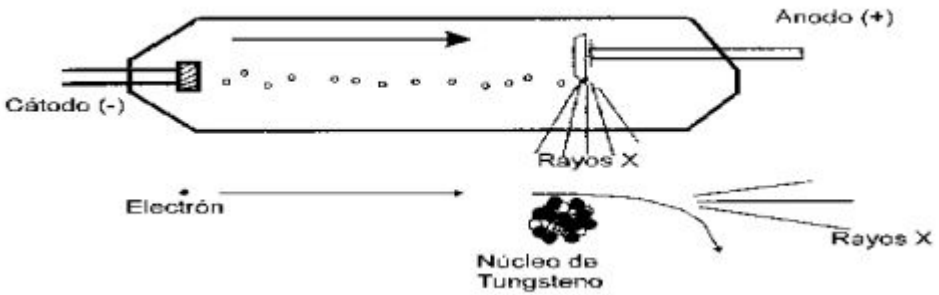
Espectro continuo de los fotones de frenado y el discreto de los fotones característicos

GENERACIÓN DE RAYOS X

Los rayos X se generan dentro de una tubo al vacío que contiene un ánodo y un cátodo.



se producen cuando un haz de electrones choca con el blanco (tungsteno) del tubo .



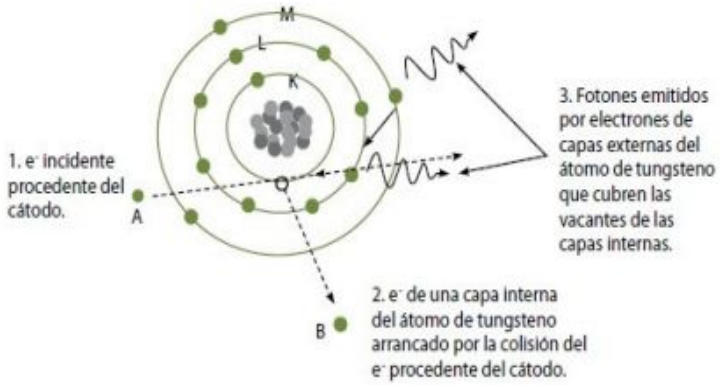
TIPOS DE EMISIONES

- EMISION DE RADIACIÓN INFRARROJA (CALOR)

Mas del 99% de la energía cinética de los electrones se convierte en calor

- EMISIÓN DE RADIACIÓN CARACTERÍSTICA

Se arranca un e- de capas internas.

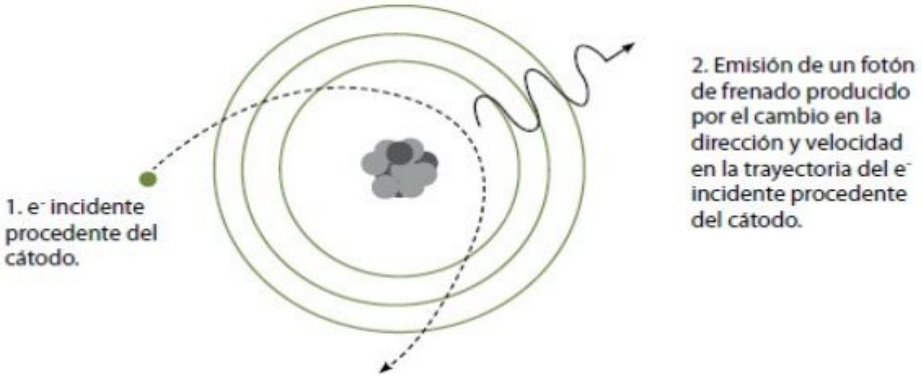


- EMISIÓN DE RADIACIÓN DE FRENADO ("BREMSSTRAHLUNG")

Radiodiagnóstico

rayos X originados por

Rad. de frenado



6.1.2 - Formación de la imagen radiológica

MODALIDADES DE LA IMAGEN DIGITAL

- Tomografía Computada (TC)
- Ultrasonido (US)
- Medicina Nuclear

} Años 70

- Resonancia Magnética (RM)
- Angiografía por Sustracción Digital (DSA)

} Años 80

- Radiología convencional

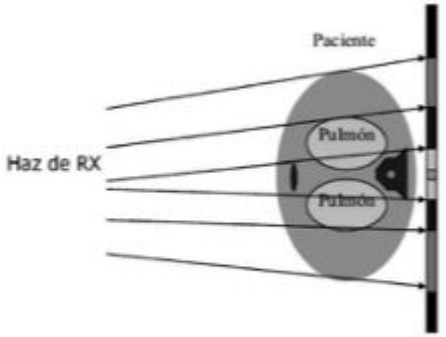
} Años 90

PARÁMETROS FÍSICOS DE LA RADIACIÓN

kilovoltaje (kV)

miliamperaje (mA)

tiempo de exposición (t)



Formación de la imagen radiológica.

FASES BÁSICAS DEL CICLO DE FORMACIÓN DE LA IMAGEN:

Radiografía convencional o imagen digital, utilizan procedimientos similares :

- ✔ Producir la imagen
- ✔ Captar y visualizar la imagen
- ✔ Registrar y archivar la imagen

El haz emerge del tubo ,interacciona con los tejidos y surge la información de las estructu ras atravesadas, que se traducirá en una imagen .

Procesos relevantes de la formación de la imagen radiológica :

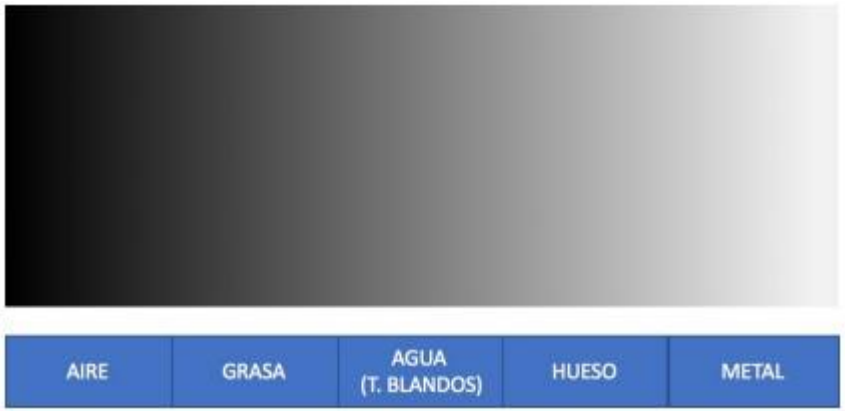
- Efecto fotoeléctrico
- Efecto Compton

DENSIDADES RADIOLÓGICAS

Radiografía → imágenes del interior del cuerpo obtenidas con rayos X de fuente externa.

Tonalidades del blanco al negro

- *Blanco* → Hueso y metales
- *Gris* → Tejidos blandos (músculo , grasa)
- *Negro* → Aire



DENSIDADES BÁSICAS EN RADIOLOGÍA CONVENCIONAL

DE MAYOR A MENOR ATENUACIÓN :

1.Aire

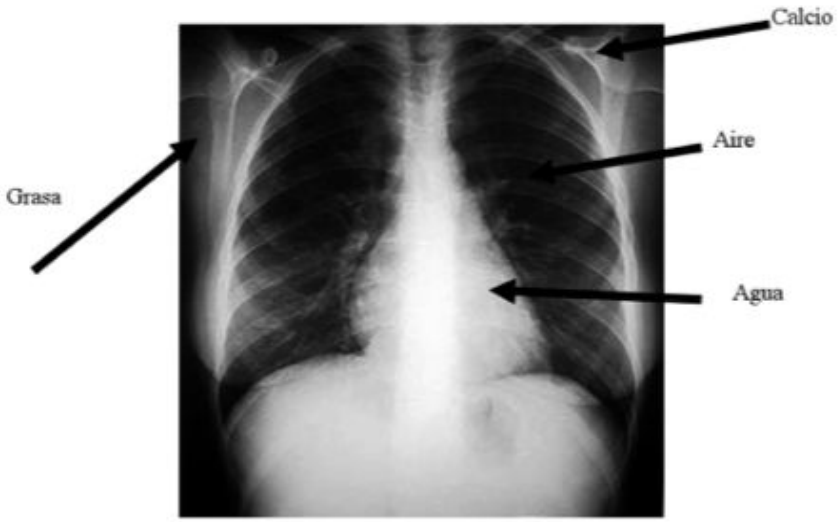
2.Grasa

3.Agua

4.Calcio

5.Metal

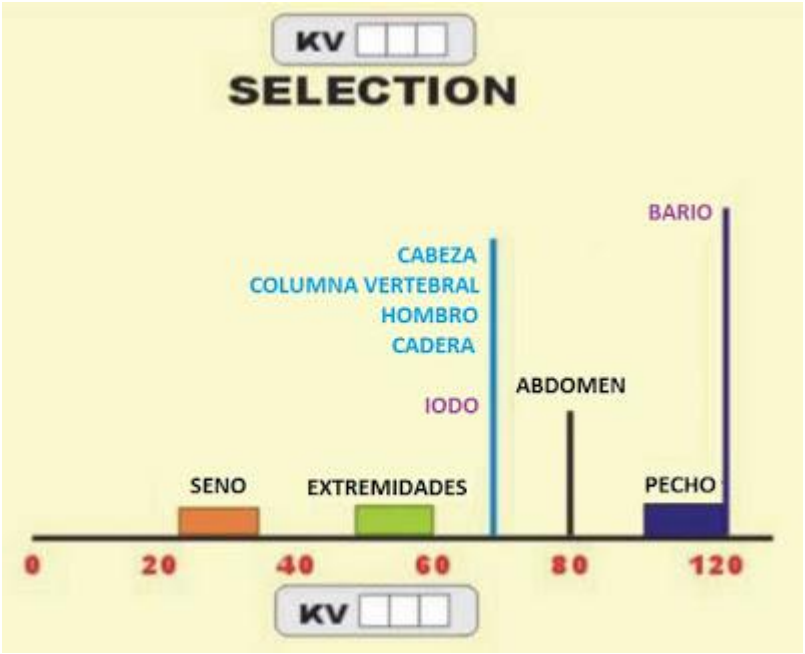
DENSIDAD RADIOLÓGICA	DENSIDAD EN GR/CC	REPRESENTADA POR
AIRE	0.00129	Pulmones, tráquea
GRASA	0.9	Grasa pericárdica
AGUA	1	Hígado, riñones, bazo
CALCIO	1.8	Huesos, calcificaciones



En resumen…

- Cuerpo humano: formado por distintos tejidos de distintas densidades.
- Mayor o menor intensidad de rayos X según parte a radiografiar.
- A mayor energía, > penetración y mayor detalle en la imagen.

- Energías de penetración en diferentes partes del cuerpo:



6.1.3 - Uso del Radiodiagnóstico en los servicios de radioterapia

Especialidades

Radiodiagnóstico
Medicina Nuclear
Oncología Radioterápica

} Emplean radiaciones ionizantes

RADIODIAGNOSTICO (Visualización y exploración de anatomía humana mediante imágenes)

- ultrasonido
- tomografía por emisión de positrones (PET)
- **rayos X**
- **tomografía computada (TC)**
- **resonancia magnética (RM)**

RADIOTERAPIA (tratamiento oncológico que utiliza las radiaciones)

- Teleterapia : acelerador lineal
- Braquiterapia

RELACION ENTRE RADIODIAGNÓSTICO Y RADIOTERAPIA

Específicamente en pacientes oncológicos

- ***RADIODIAGNOSTICO*** → Diagnosticar la enfermedad mediante imágenes.
- ***RADIOTERAPIA*** → Tratamiento de la enfermedad.

↓ *se ayudan mutuamente*

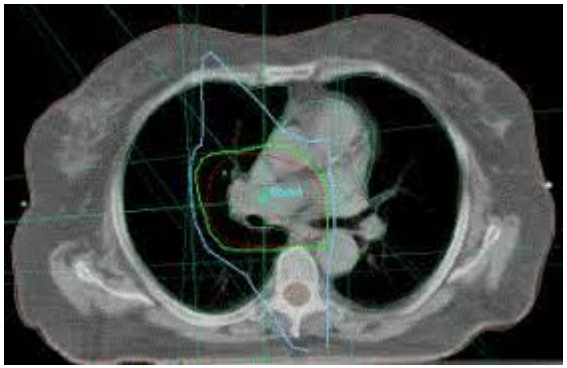
Uso del radiodiagnóstico en la radioterapia es

↓

AJUSTAR y VERIFICAR el tratamiento de RT

↓ *mediante*

IMAGEN RADIOLOGICA



6.2 - EQUIPOS DE FORMACION DE IMAGEN

6.2.1 – Terminología en imagen

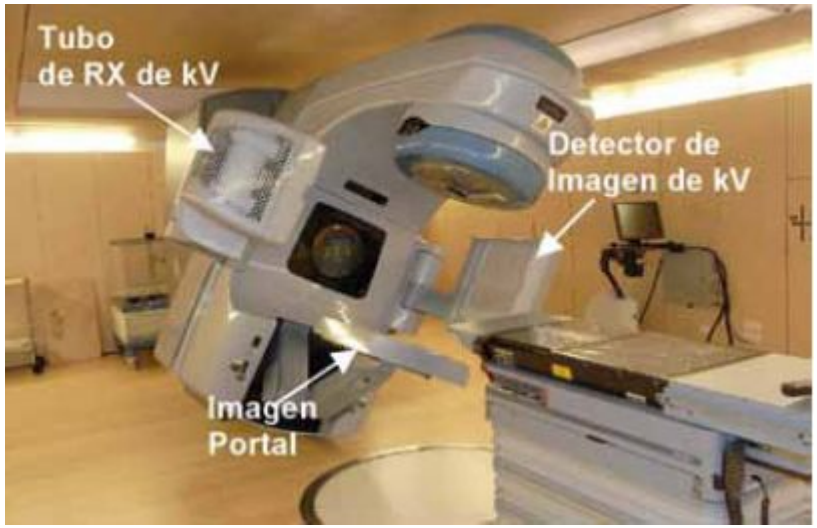
Imagen portal → De localización

→ De verificación

Kilovoltaje ⟹ radiografías planas de kilovoltaje (kV)

Megavoltaje ⟹ **imágenes** de **megavoltaje** (MV) ; *Imagen portal.*

CBCT ⟹ imágenes de tomografía axial



SISTEMAS DE IMAGEN GUIADA

Función IMAGEN Corregir las *Incertidumbres* del tratamiento.

Imágenes planas en 2D → Kv o Mv para visualizar marcadores radiopacos

Imágenes volumétricas → ecografía, tomografía computarizada.

Imágenes 4D → Fundamento de la IGRT .

TÉCNICAS DE GUIADO

2D Match

- Única exposición kV / Única o doble exposición MV

2D- 2D Match - Imágenes pareadas:

- kV- kV (Menos dosis y mejor contraste, pero hay que rotar gantry entre imágenes)
- MV - kV
- MV - MV

3D Match:

- Cone Beam CT

Marker Match (Fiduciales)

Fluoroscopia: Imágenes en tiempo real usadas en verificación pre-tratamiento (Técnica Gating).

PRINCIPALES SISTEMAS DE IMAGEN GUIADA

a) Marcadores radiopacos (fiduciales) : 2- 10 mm. Oro/Plata. Esferas/Cilindros
Tumor de próstata principalmente, también en páncreas y pulmón.

✔ Rápida visualización en imagen
✔ Pueden migrar

b) Ecografía : imágenes volumétricas. Tumor de próstata principalmente

✔ Inocua y permite rápida visualización.
✔ Imágenes diferentes al TC simulación

c) *Cone beam* tomografía computarizada (CBCT).

✔ Imágenes volumétricas en una sola rotación del tubo de rayos X y del detector
✔ Tiempo de adquisición (1min) y artefactos respiración

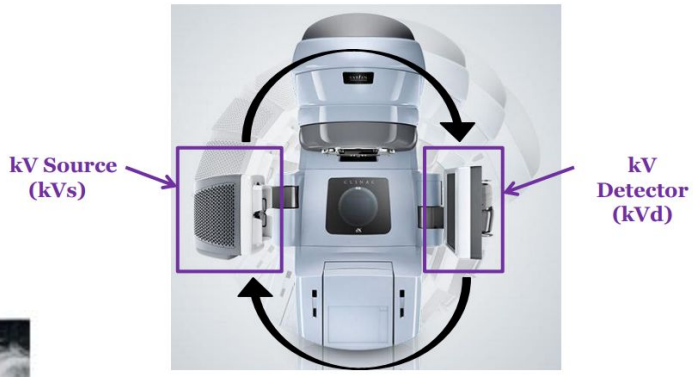
d) En estudio ; Fluoroscopia

ON- BOARD IMAGER (OBI)

-La unidad OBI puede adquirir :

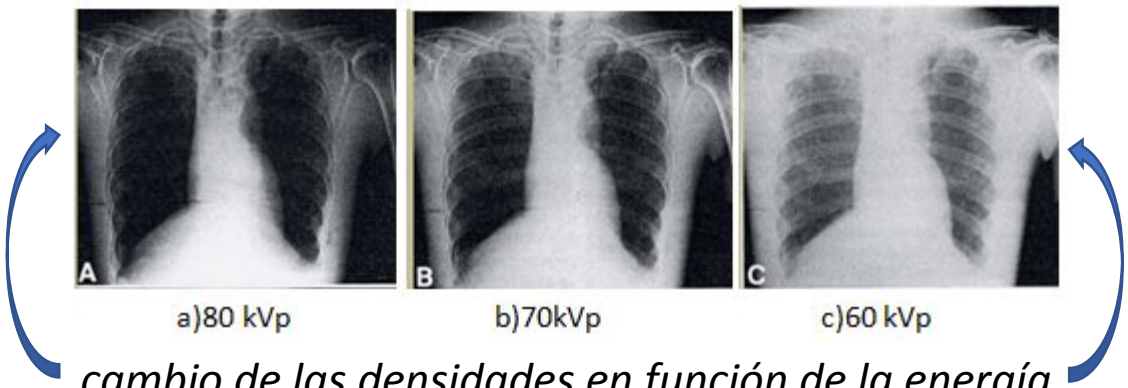
- -Imágenes radiográficas
- -Imágenes radioscópicas
- -Imágenes TAC ConeBeam (haz cónico)

Se adquieren antes del tratamiento para corregir errores de posicionamiento.



IMÁGENES OBI

Bajas energías ⟶ Tj. Blandos y huesos suaves (densidad baja)



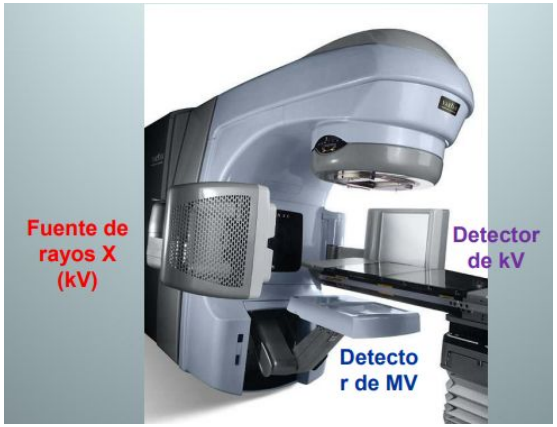
cambio de las densidades en función de la energía

COMPONENTES DEL OBI

1- kV Source

2- kV Detector

3- MV Detector



MV Imager (Portal Vision) :

Imágenes de MV

- primera exposición es el campo de tratamiento .
- segunda (doble exposición) es un campo abierto.

6.2.2 - Dispositivos electrónicos de formación de imagen portal (EPID)

EPID (Sistemas electrónicos de imagen portal)→ sistemas de obtención de imágenes en el propio acelerador.

IMAGEN : Obtenida directamente del haz de irradiación.

Imágenes 2D y 3D : Comprobar y corregir la posición del paciente.

Se obtienen de dos maneras (según fabricante) :

1- Mismos haces de fotones que para tratamiento → `Orden de MV`

2 – Equipo de rayos X instalado en el acelerador → `Orden de kV`

ORIGEN Y EVOLUCION DE LOS EPID

ORIGEN EPID

Incertidumbres □ Errores tratamiento de radioterapia: posicionamiento, respiración del paciente...

EPID : Permiten ver la imagen tras su adquisición.

EVOLUCION EPID

Tipos de EPID (han ido evolucionando):

- Los formados por una placa metálica más una pantalla de un compuesto de fósforo acoplada a una cámara de TV.
- Los formados por una matriz de cámaras de ionización u otros detectores.
- Detectores de panel plano (los más modernos).

IMÁGENES DIAGNÓSTICAS

→ Conjunto de estudios, que mediante la tecnología: obtienen y procesan imágenes del cuerpo humano.

→ Se obtienen mediante:

RADIOLOGIA CONVENCIONAL – Radiografías:

Fluoroscopia Mamografía Exploraciones dentales

RADIOLOGIA DIGITAL

Tomografía computarizada (TC)

Angiografía digital

Radiografía digital convencional

Radiología intervencionista

→ MÉTODOS DE IMAGEN – Medicina, los + usados :

Rayos X

Ultrasonido

Tomografía Computarizada (TC)

Resonancia Magnética (RM

METODOS IMAGEN EN RADIOTERAPIA

-Simular o verificar el tratamiento.

-Los + usados en RT son:

A)RAYOS X (RADIOLOGIA CONVENCIONAL Y DIGITAL)

B) TOMOGRAFIA COMPUTERIZADA

C)RESONANCIA MAGNETICA

RAYOS X

A < longitud de onda → RX de > energía y poder de penetración.

RADIOLOGÍA CONVENCIONAL

Equipos de radiología convencional

Tubo de Rayos X
Generador de radiación
Detector de radiación
} Componentes básicos

Tubo de RX → Dispositivos asociados: filtros, limitadores del haz y rejillas antidifusoras.

RADIOGRAFIAS : Utilidad en diagnóstico por la capacidad de penetración de los rayos.

RADIOLOGÍA DIGITAL

Obtiene imágenes directamente en formato digital. dos métodos :

1. Imagen radiográfica digitalizada
2. Imagen radiográfica digital

Diferencia entre ambas:

1. se obtiene del escaneo de una placa.
2. captura digital directa de la imagen.

Los sistemas de generación de imagen radiológica actuales son digitales

La **radiología digital** permite:

1. Eliminación de soportes con emulsiones de sales de plata y productos químicos.
2. Mejor calidad de imagen (filtrado digital).
3. Almacenar y compartir información (sistemas informáticos).
4. Mayor resolución de contraste.

- RADIOLOGIA DIGITAL

- VENTAJAS
- Reduce tiempo de adquisición
- Reduce dosis
- Capacidad diagnóstica
- Archivo digital
- Ahorro de películas y químicos

- DESVENTAJAS
- Complejidad (formación especifica)
- Dosis excesivas inadvertidas
- Aumento potencial de dosis

TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA (TC)

TAC → Exploración de rayos X que produce imágenes detalladas de cortes del cuerpo.

Múltiples imágenes

↓

Rota alrededor del cuerpo

Contraindicaciones: Embarazadas, pacientes con insuficiencia cardiaca, renal o hepática.

✔ VENTAJAS

Imágenes exactas

Técnica no invasiva e indolora

Visualización numerosos tejidos del cuerpo

Rápidos y sencillos

Menos costosos que la RMN

Imágenes en tiempo real

✔ DESVENTAJAS

Altas dosis

RESONANCIA MAGNÉTICA (RM)

Imágenes detalladas de órganos y tejidos internos a través del uso de campos magnéticos

- Estudio prácticamente de todo el cuerpo humano.

Contraindicaciones

- Absolutas → dispositivos cardíacos, implantes cocleares…
- Relativas → embarazo, claustrofobia severa…

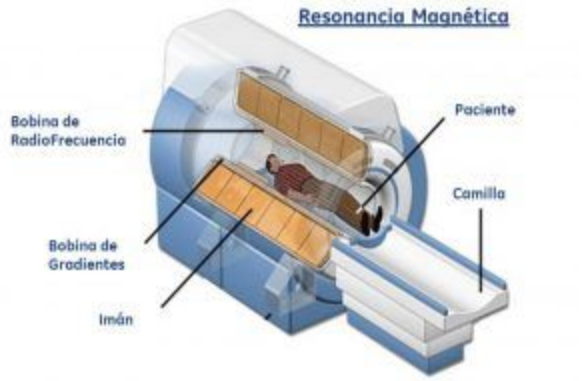
COMPONENTES FUNDAMENTALES

Imán (crea el campo electromagnético)

Sistema de radiofrecuencia

Sistema de adquisición de datos

Ordenador



RESONANCIA MAGNETICA RMN

✔ <u>VENTAJAS</u>

-No utiliza radiación ionizante.

- Cortes muy finos (1-2mm).
- Permite ver estructuras no apreciables con otros estudios.
- Imágenes multiplanares (sin cambiar postura del paciente).
- Permite uso contraste (mejorar la imagen)
- Detecta cambios en contenido tisular del agua
- Prueba indolora y el paciente está en contacto con interfono con el personal.

- DESVENTAJAS

-larga duración del examen.

-Estudio muy caro

- RMN cerradas provocan claustrofobia.

6.3 - TRATAMIENTO RADIOTERÁPICO GUIADO POR IMAGEN

6.3.1 - RT guiada por imagen. IGRT

Radioterapia guiada por la imagen (IGRT): Se utiliza para ajustar el haz de radiación lo máximo posible al volumen deseado.

Para el tratamiento radioterápico es indispensable usar:

- dispositivos de inmovilización del paciente
- marcadores internos
- estructuras óseas que sirvan de guía

TECNOLOGÍAS DE IGRT

-Imagen portal
- Tomografía computarizada (TC)
- Tomografía computarizada de haz cónico
- Resonancia magnética
- Transpondedores electromagnéticos.
- IGRT con control de movimientos respiratorios:
  - Tracking
  - Sincronización respiratoria
  - Inhibición respiratoria (Control voluntario/ Compresor abdominal)
- TAC 4D
- Rayos X
- Tomografía convencional
- MVCT
-Ultrasonido

DISPOSITIVOS DE IGRT

Verificación pretratamiento → Tratamientos de gran complejidad.

Dosimetría "in vivo" → Registro de dosis con el paciente ya en la mesa.

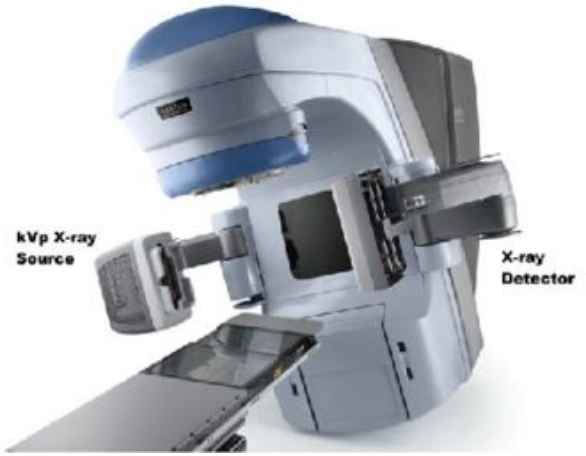
Los ALE de última generación incluyen dispositivos de imagen para visualizar que el paciente está en la posición prevista en la simulación

Las imágenes obtenidas:

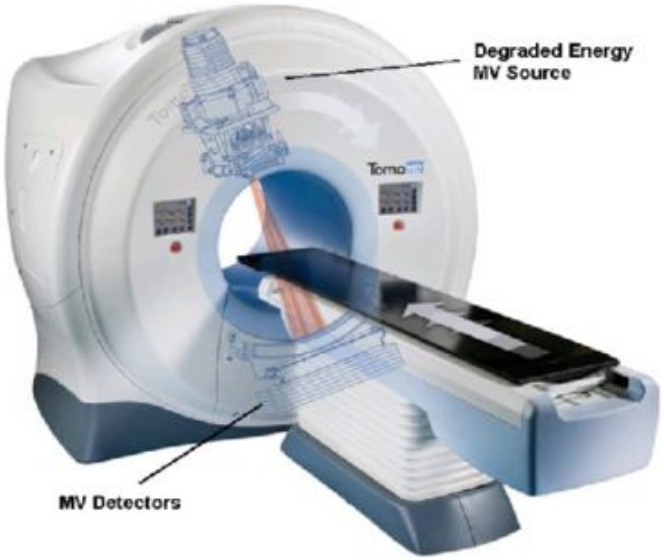
- MV CBCT : imagen volumétrica obtenida con el haz de tratamiento de 6 MV. Visualización de partes óseas, prótesis metálicas o regiones de alto contraste(pulmón)
- Kv CBCT: imagen volumétrica obtenida con un sistema de rayos X ortogonal al haz de tratamiento. Visualización de regiones de alto contraste como para partes blandas.

Uno de estos dispositivos es el *dispositivo electrónico de imagen portal*:

- Adquisición de imágenes mediante un haz de radiación que se utiliza para tratamiento.
- Se usa tanto pretratamiento como para dosimetría “in vivo”
- Herramienta para la colocación precisa y de garantía de calidad .



DISPOSITIVOS DE IGRT



PROCEDIMIENTO DE IGRT

Objetivo principal → mejorar la precisión de la colocación del campo de radiación y reducir la exposición del tejido sano.

Para ello…

Corrección de incertidumbres

PRINCIPALES FUENTES DE INCERTIDUMBRES

- Las inexactitudes en la delineación de los volúmenes
- Los movimientos internos y externos del paciente
- Los errores en el posicionamiento

CORRECCION DE MOVIMIENTOS DURANTE EL TRATAMIENTO

Movimiento interfracción→ movimientos del volumen a tratar de una fracción a otra

Movimiento intrafracción→ posición del volumen a tratar varía a lo largo de la propia fracción, fundamentalmente, a causa de la *respiración.*

CORRECCIÓN DEL MOVIMIENTO INTERFRACCIÓN

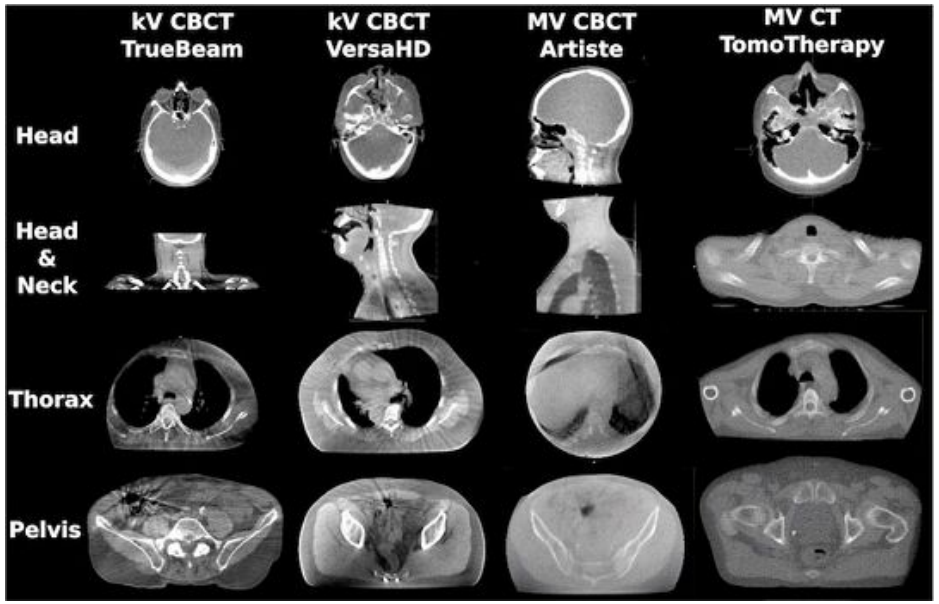
Modalidades disponibles para detectar y corregir este movimiento

- **EPID -** MV
- **Dispositivos de imagen** – KV **-** imágenes planares de RX .
- **Tomografía cónica** (**CBCT)-** Modalidad de IGRT más extendida.

Según fabricante

KV- CBCT

MV-CBCT



- **Escáner TC**
- **"MV CT" con haz en abanico-** tomoterapia helicoidal

Otras modalidades de IGRT que NO utilizan radiaciones ionizantes son:

- *Sistema ecográfico*
- *Sistema de imagen tridimensional de la superficie corporal*
- *Imágenes de resonancia magnética (IMR)*

CORRECCIÓN DEL MOVIMIENTO INTRAFRACCIÓN

Detectar y poder tener en cuenta el movimiento de los órganos debido a la *respiración*

MÉTODOS

Irradiación sincronizada con la respiración (“Gating”)

Mantenimiento de la respiración

Terapia adaptada al movimiento (“Tracking”)

CALYPSO - sistema de localización 4D

PROCESO DE IGRT

TRES ETAPAS

1-RASTREO (TRACKING)

El *tracking* hace referencia a diversos pasos:

✔ Obtención de imágenes

✔ Localización regiones anatómicas de interés y marcadores externos e internos.

✔ Determinación de la relación espacial entre esas estructuras y la comparación con las imágenes de referencia (*maching*)

2-CALCULO DE ERRORES

Manual (técnico de RT) o Automático (software)

Se calculan en los tres ejes del espacio (longitudinal, transversal y vertical) y el eje de rotación.

3-CORRECCION

Corrección *online*: antes de la irradiación diaria . Corrige errores sistemáticos y al azar.

Corrección *offline:* analizadas *a posteriori.* Reduce el riesgo de error sistemático.

CONTROL RESPIRATORIO

IGRT CON CONTROL DE MOVIMIENTOS RESPIRATORIOS

Los movimientos del volumen de tratamiento por los movimientos respiratorios, hacen necesario conocer con precisión la localización el tumor

MÉTODOS DE IGRT

Tumores de pulmón e hígado

Tracking

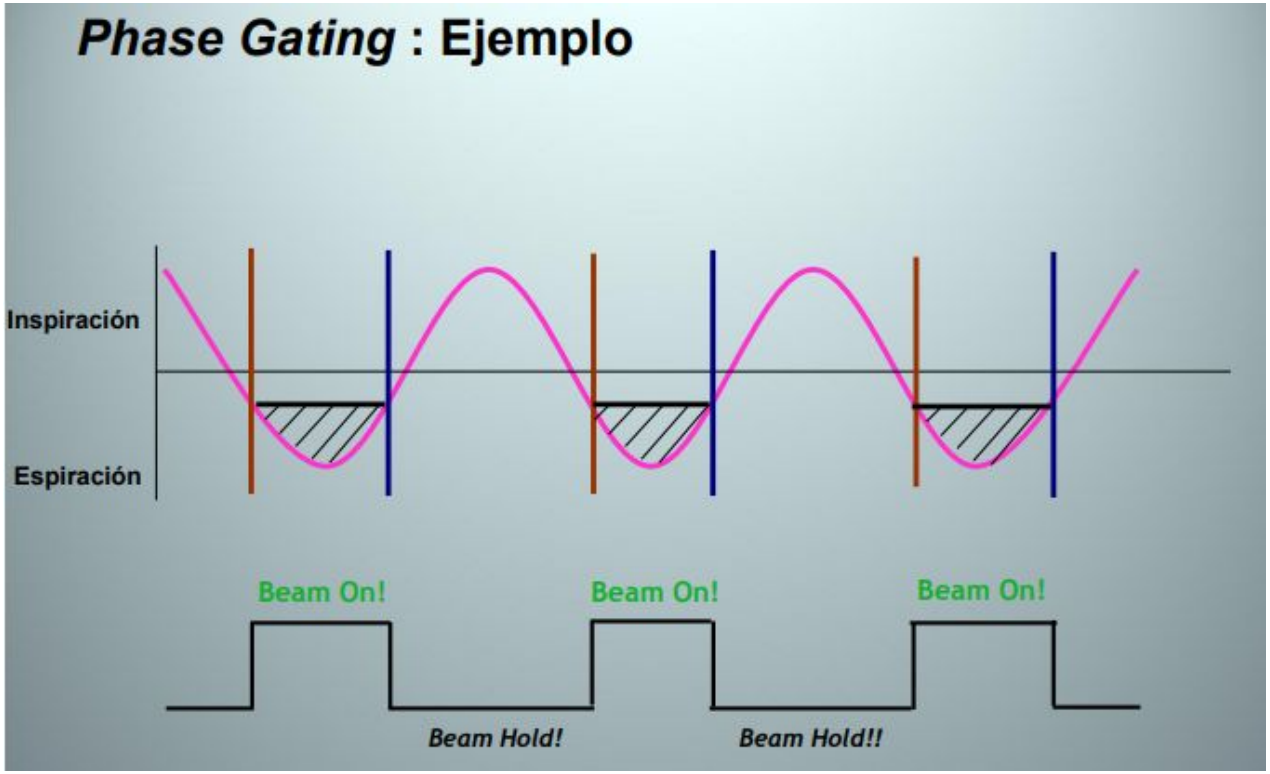
Desplazamiento del tumor correlacionado con las fases de la respiración, utilizando detectores de movimiento de la pared torácica o del flujo respiratorio.

Sincronización respiratoria

(“gating”)

El acelerador solamente irradia en una fase del ciclo respiratorio, en fase de espiración por ser la parte más larga y estable.

ciclo respiratorio → sistema de infrarrojos



Inhibición respiratoria

Manipular el ciclo respiratorio de forma artificial para reducir los movimientos respiratorios.

Dos formas:

1. *Control voluntario* ***Breath Hold:***

Retención de la respiración en inspiración profunda (DIBH) → Se irradia los segundos que el paciente es capaz de mantenerse sin respirar

Entrenamiento del paciente → dos técnicas :

- **DIBH moderada** :dispositivos de control activo de la respiración

  Espirómetro

- **DIBH voluntaria :** se monitorea el movimiento respiratorio

  Se coloca un *dispositivo en el tórax*

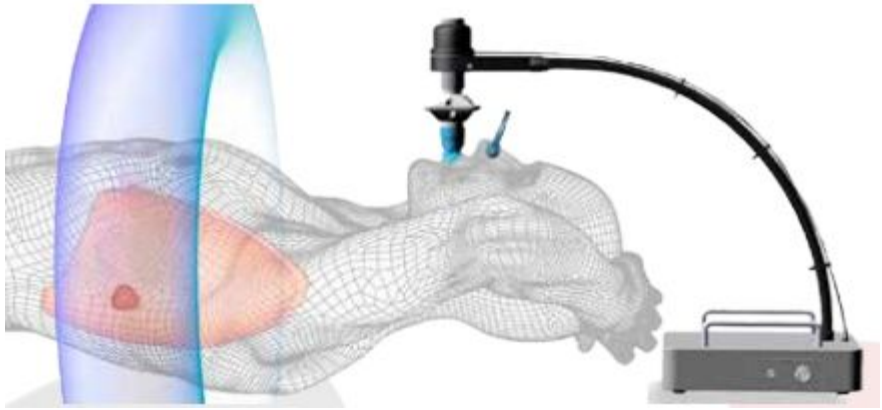
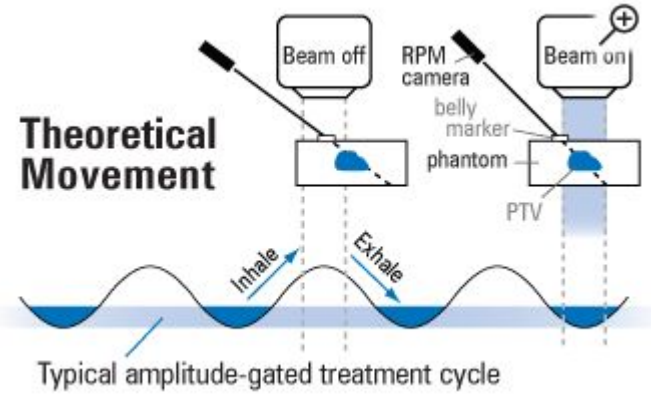
  Paciente contiene la respiración en ciertos puntos

2. *Compresor abdominal*

Usa un *compresor diafragmático*

Es el método que menos controla el movimiento.

Método de respiración libre: Se monitorea la respiración del paciente .



Compresor abdominal