

Grupo IRIS de Física Médica

**Image Reconstruction, Instrumentation and
Simulations for medical applications**

<http://ific.uv.es/iris>

Gabriela Llosá Llácer

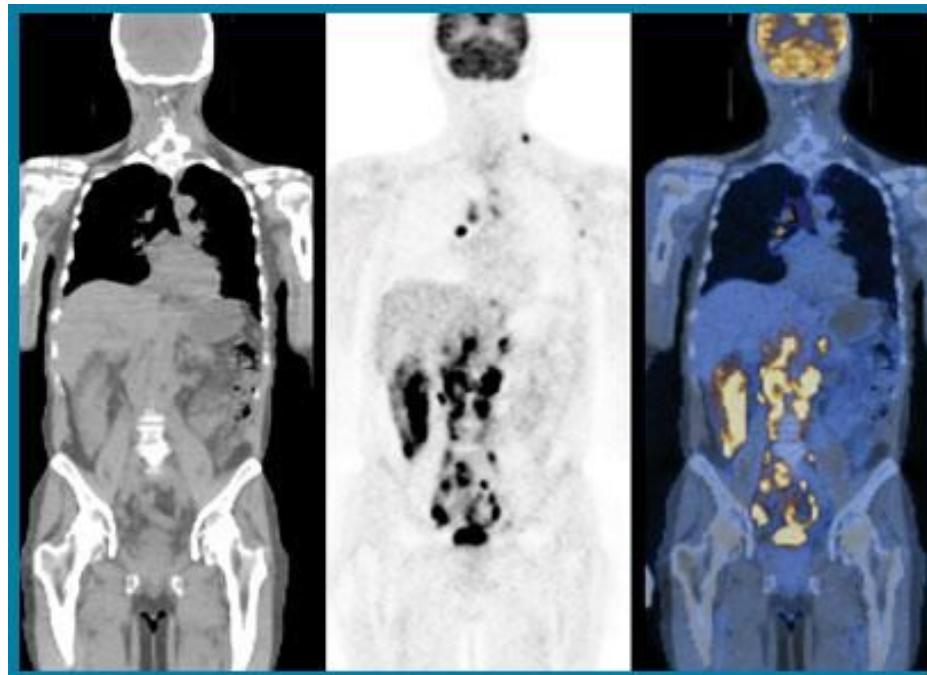
Instituto de Física Corpuscular (IFIC – CSIC/UVEG)

Instalación de Física Médica (IFIMED)

*IFIC Summer Student Programme
19 Julio 2016*

Contenido

- La física médica y la imagen médica
- Técnicas de imagen médica
- Terapia con fotones y terapia hadrónica.
- Grupo IRIS



La medicina necesita a la física

La medicina utiliza propiedades físicas para ayudar al diagnóstico y a la curación de enfermedades, e incluso para mitigar el dolor.



Física médica: aplicación de la física al diagnóstico y a la terapia en medicina

Qué es la física médica?

Origen de la física médica:

Rayos X de Röntgen en 1895

Primer premio Nobel de
física en 1901



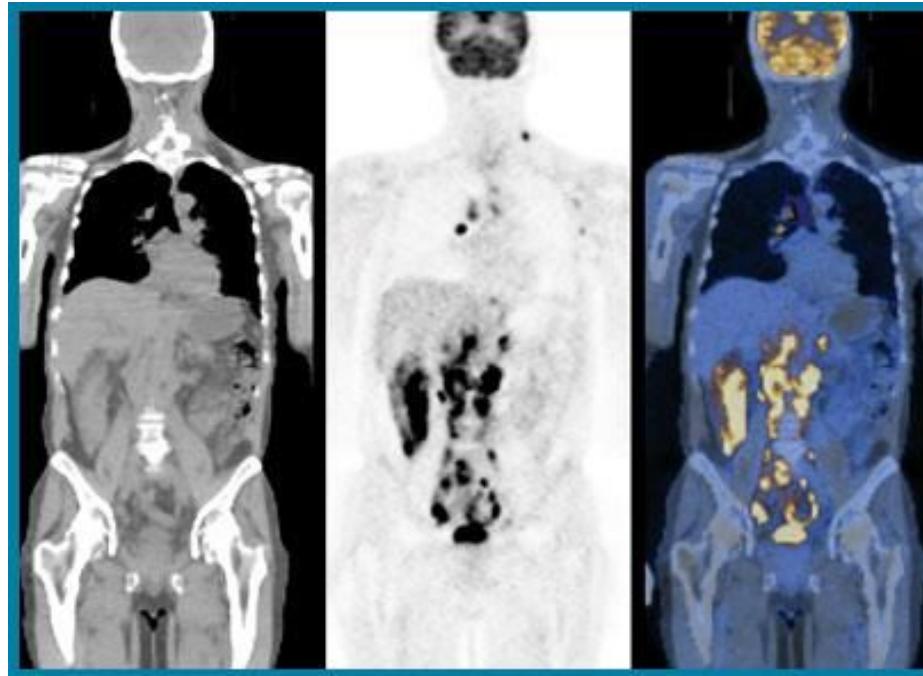
REVOLUCIÓN. Uno de los pilares de la medicina moderna

Qué es la física médica?

- Aplicación de la física al diagnóstico y a la terapia en medicina
- La física de partículas desempeña un papel esencial en algunas técnicas de imagen médica:
 - Se utilizan partículas (algunos tipos concretos) como en otras áreas, generalmente a menores energías.
 - Mismo tipo de detectores que en otras áreas (física de altas energías, de astropartículas)

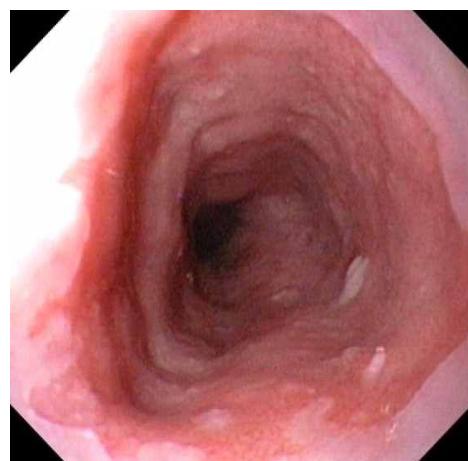
=> La física médica se beneficia directamente de los avances en otras áreas de la física.

Imagen médica



Diagnóstico por imagen

Técnicas invasivas: Se 'entra' en el cuerpo para poder explorarlo.



Endoscopia

Técnicas no invasivas:

Nos basamos en propiedades físicas para explorar el cuerpo desde fuera.



Necesitamos un 'agente' que transmita la información

Rayos X

Imagen médica

Estructural

Información anatómica

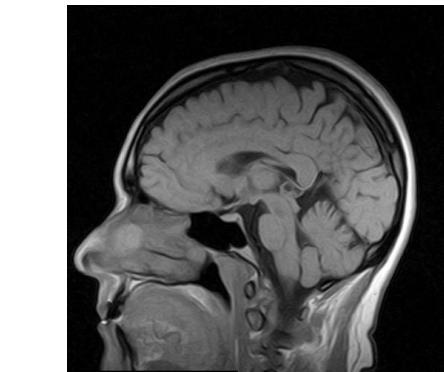


TAC



Ecografía

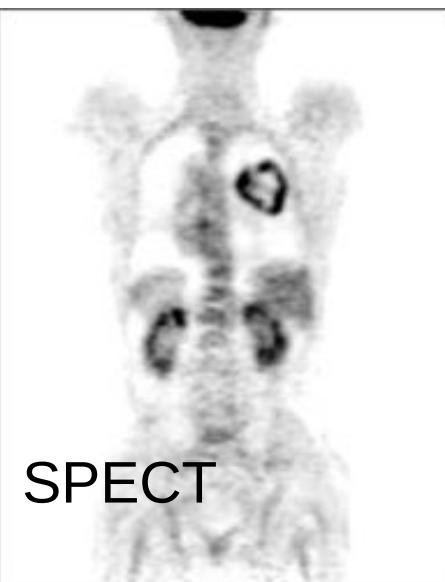
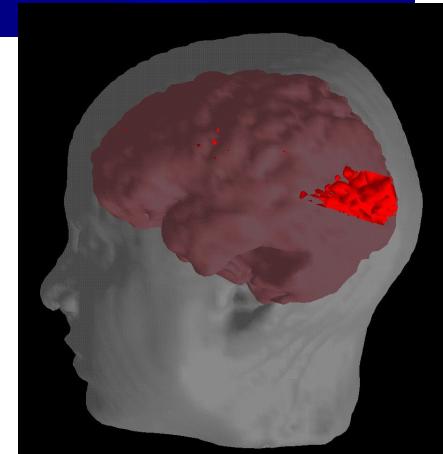
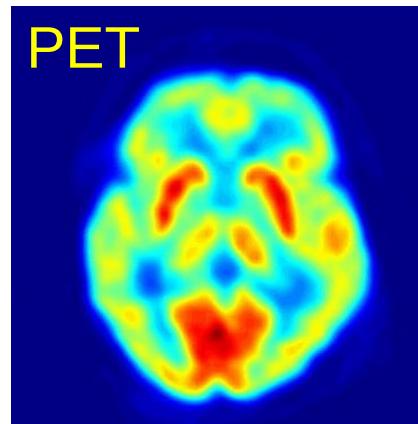
Radiografía



Resonancia magnética

Funcional

Información sobre procesos químicos y metabólicos



SPECT

Resonancia magnética funcional

Imagen médica

Estructural

Radiografía y TAC



Resonancia magnética



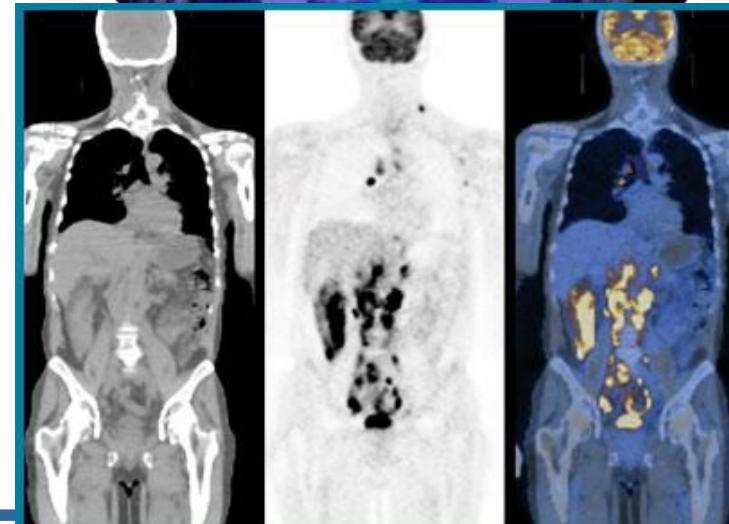
Ecografía



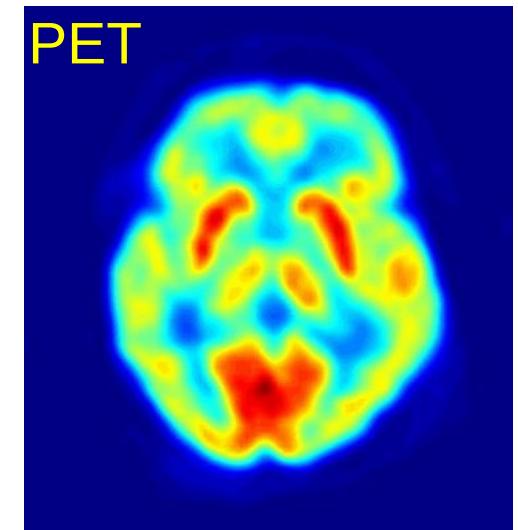
G. Llosa

Multimodalidad

PET-TAC



Funcional



SPECT



Un poco de historia...

BEFORE LEAVING THE EXHIBITION
“SEE”
THE WONDROUS
X RAYS
The
Greatest Scientific Discovery
of the Age.
By the aid of the New Light you are
enabled to see
“THROUGH A SHEET OF METAL”
“THROUGH A BLOCK OF WOOD”
AND ALSO
“Count the Coins within your Purse.”
ADMISSION - 3d.
OPEN ALL DAY.
X RAY PHOTOGRAPHS TAKEN.
P.T.O.



(a)



(b)



(c)

M. Hoheisel, NIM A563 (2006) 215–224

- Imagen de la mano, 1895
- Aumento de la señal con pantallas centelleadoras que el paciente tiene que sujetar.
- Imagen en tiempo real con pantallas centelleadoras

Imagen médica estructural. Rayos X

Estructural

Radiografía y TAC



Resonancia magnética

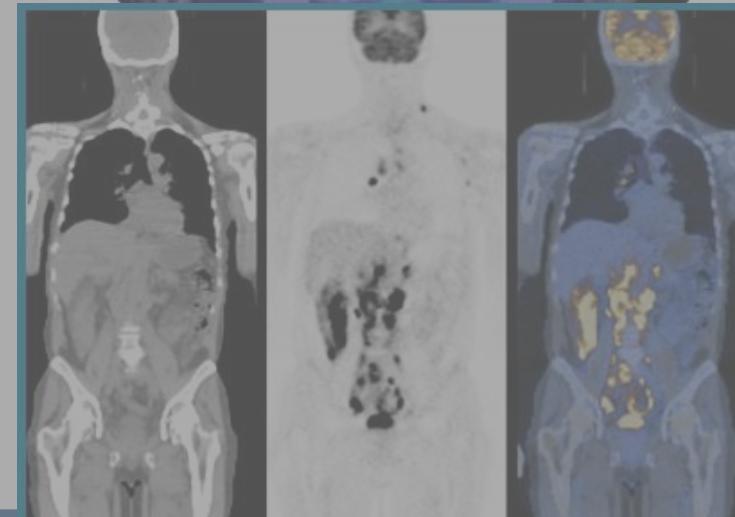
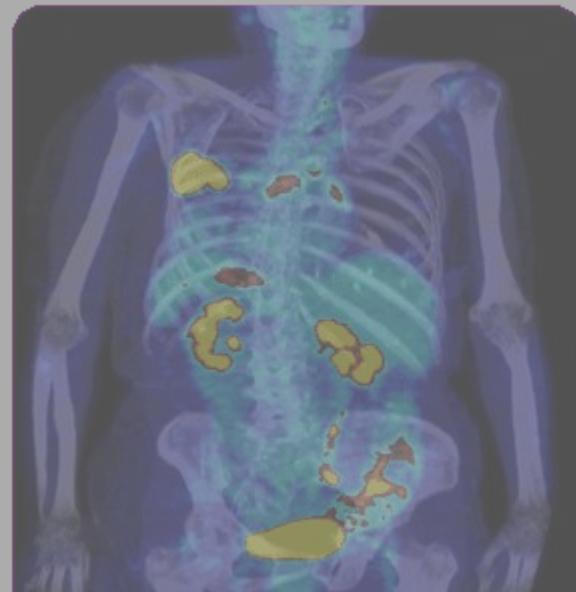


Ecografía



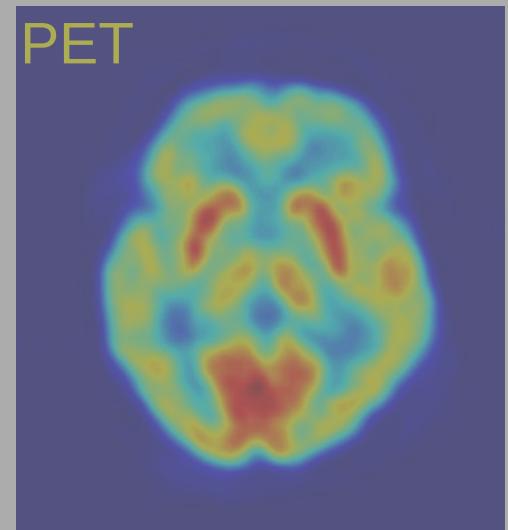
Multimodalidad

PET-TAC



Funcional

PET

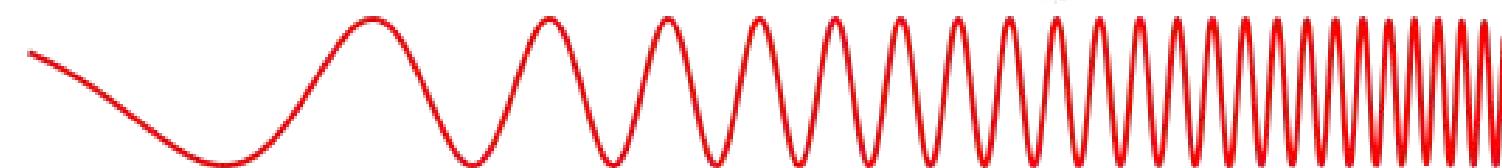
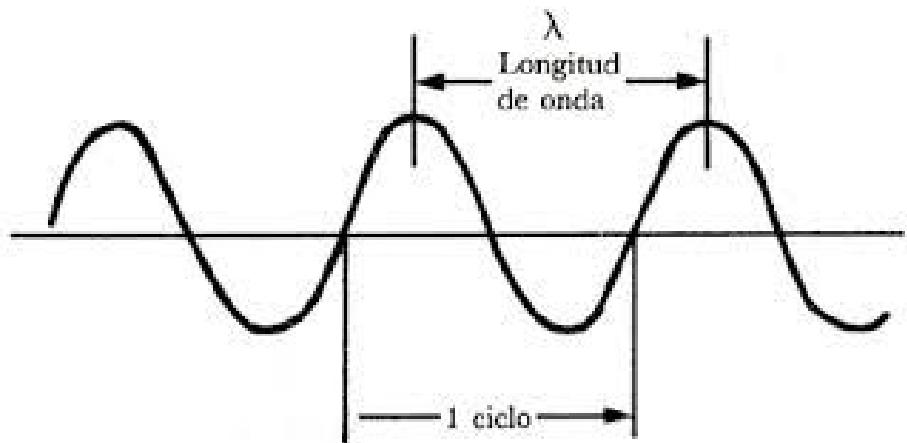


SPECT

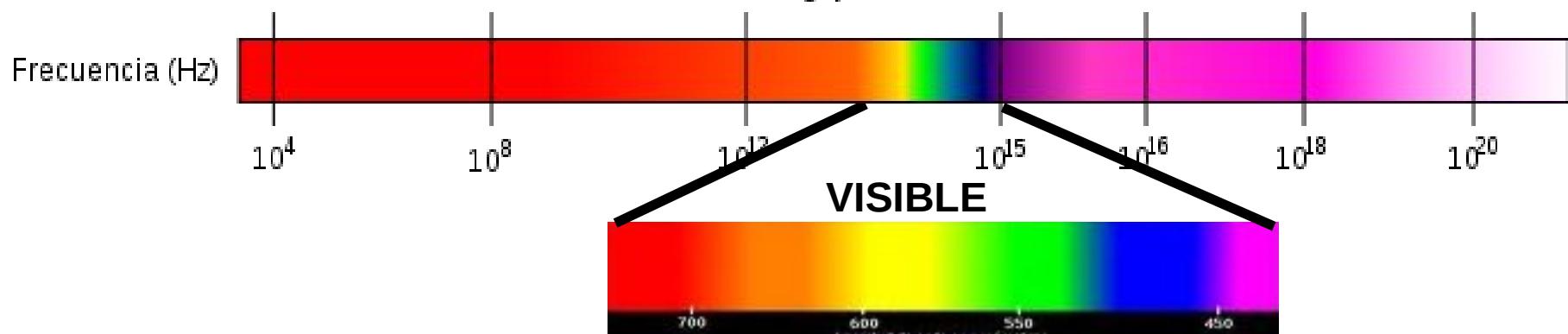


Fotones

- No tienen carga ni masa
- Imagen y radioterapia

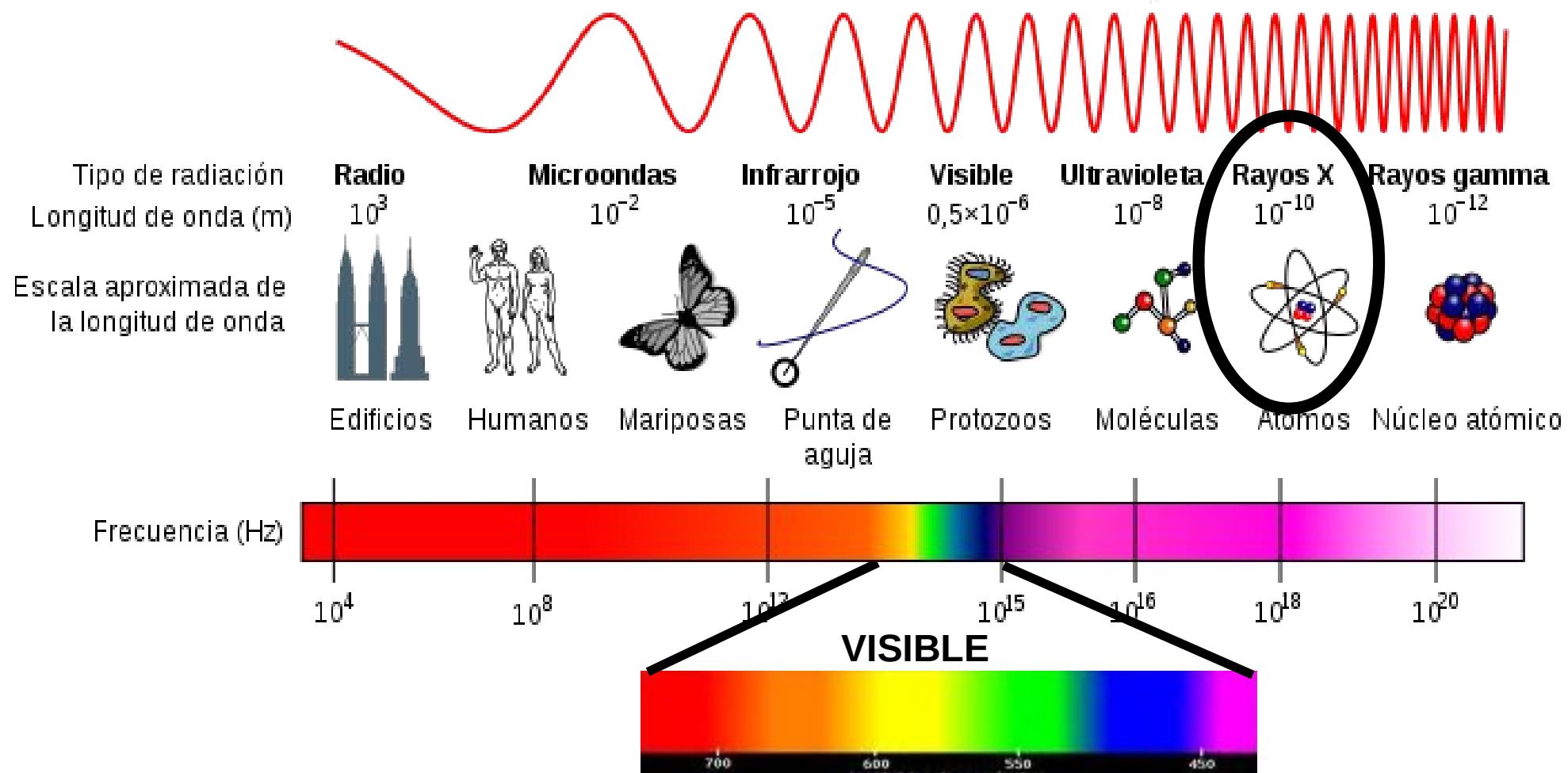
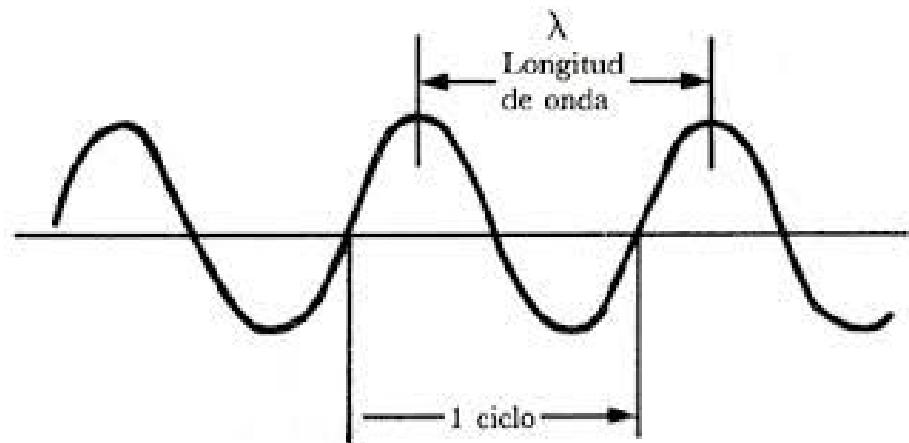


Tipo de radiación	Radio	Microondas	Infrarrojo	Visible	Ultravioleta	Rayos X	Rayos gamma
Longitud de onda (m)	10^3	10^{-2}	10^{-5}	$0,5 \times 10^{-6}$	10^{-8}	10^{-10}	10^{-12}



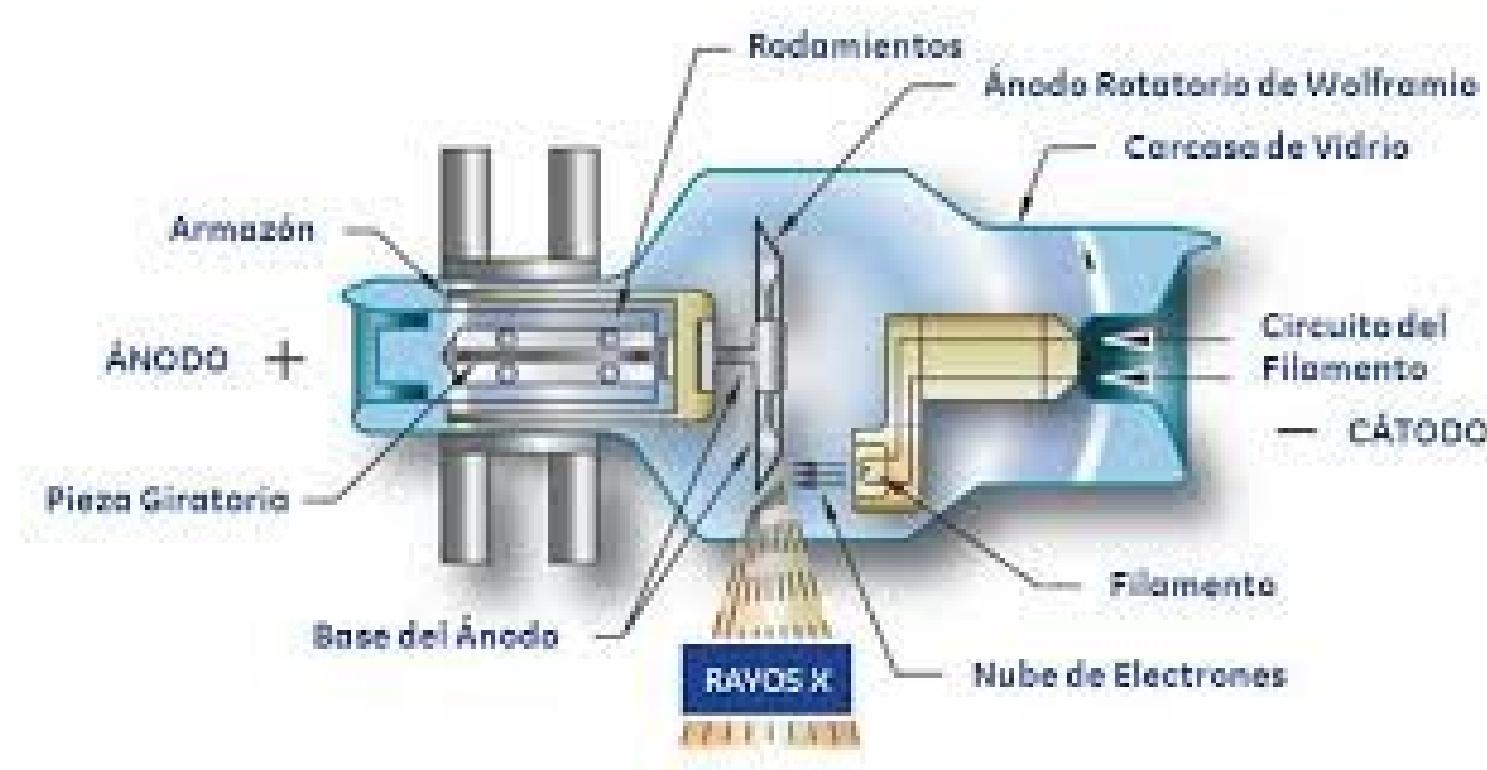
Fotones

- Rayos X



Rayos X

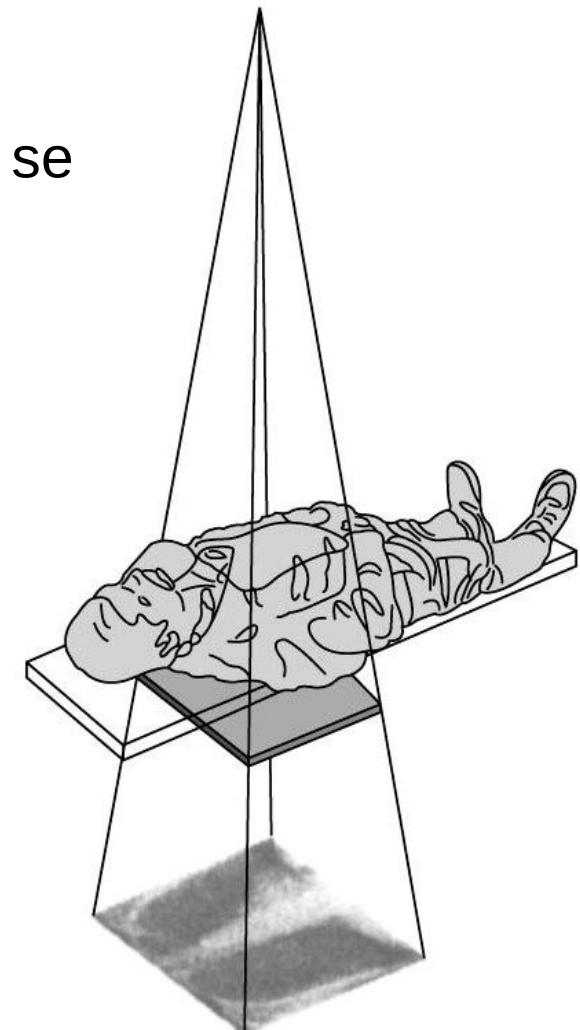
¿De dónde los sacamos?



Generadores de Rayos X

Rayos X (radiografía)

- Los fotones atraviesan el cuerpo del paciente, y detectamos al otro lado los que pasan.
- La diferencia de densidad de los tejidos hace que se atenuen más o menos. Es como ver la sombra.



¿Y cómo los vemos?

Con una película, una pantalla, o un detector (ej. Mamografía digital)

Rayos X



Mamografía

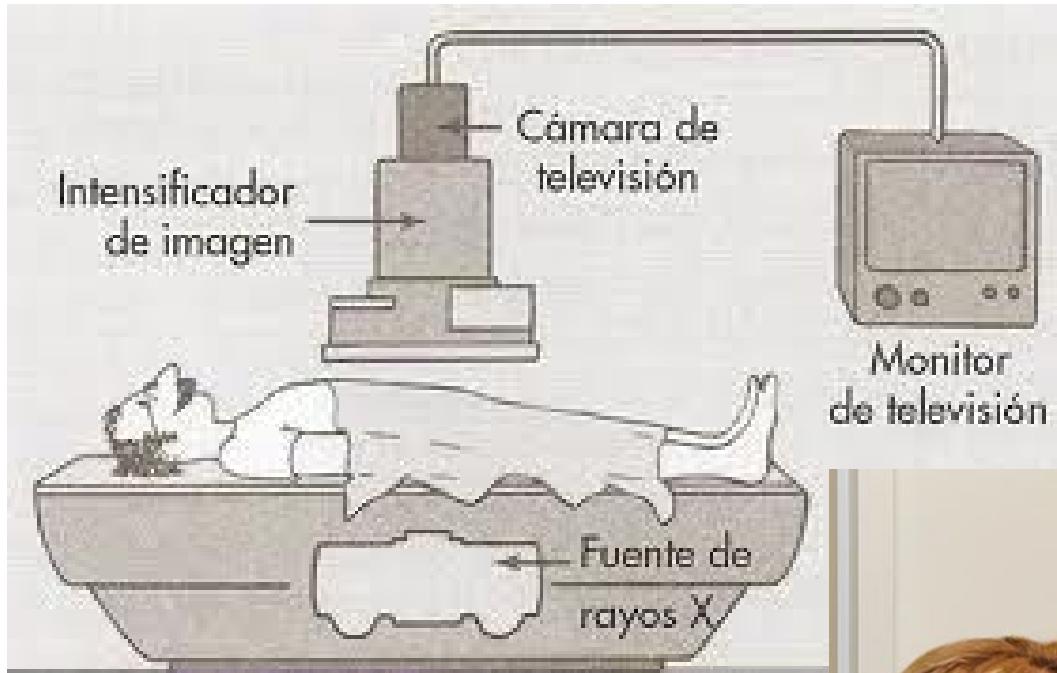


pantomografía



Rayos X con
contraste

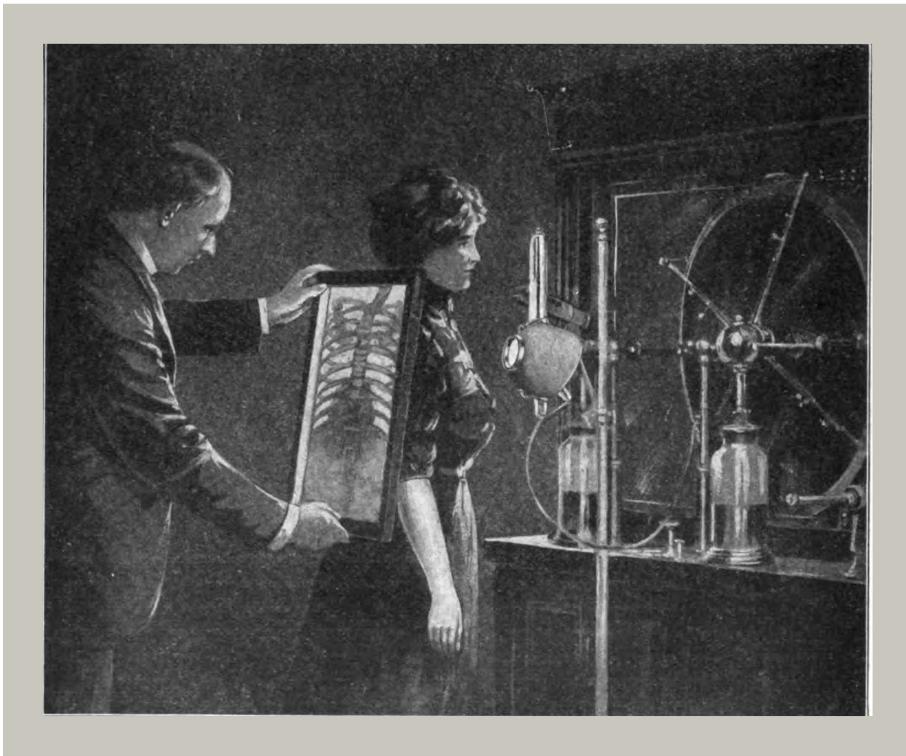
Fluoroscopia



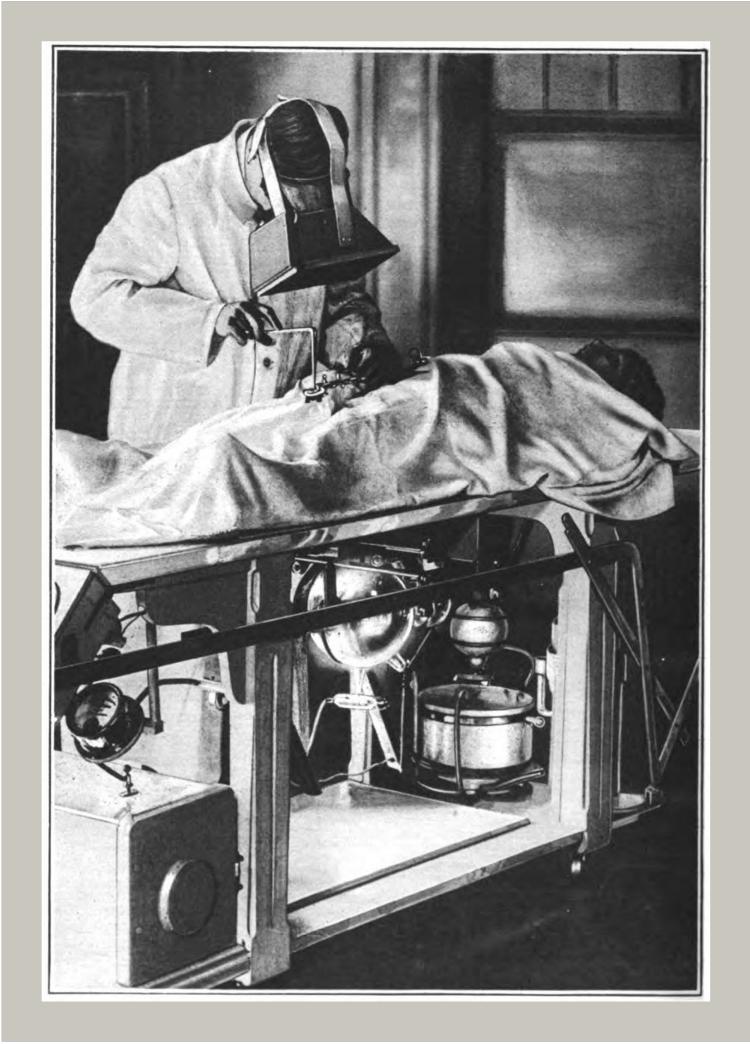
Rayos X en vivo



Fluoroscopia



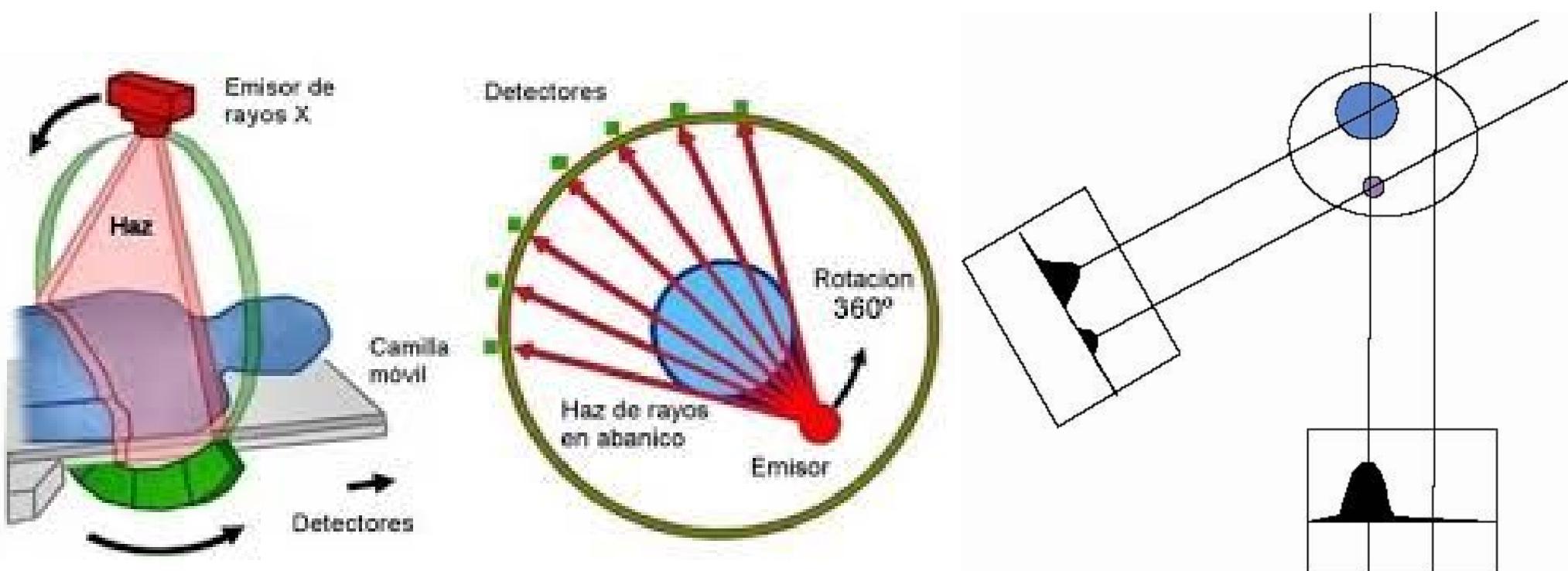
Fluoroscopia de la médula espinal en 1909, con el primer aparato. Se utiliza una pantalla para verlo.



Operación de un soldado en la primera guerra mundial, utilizando fluoroscopia para localizar las balas.

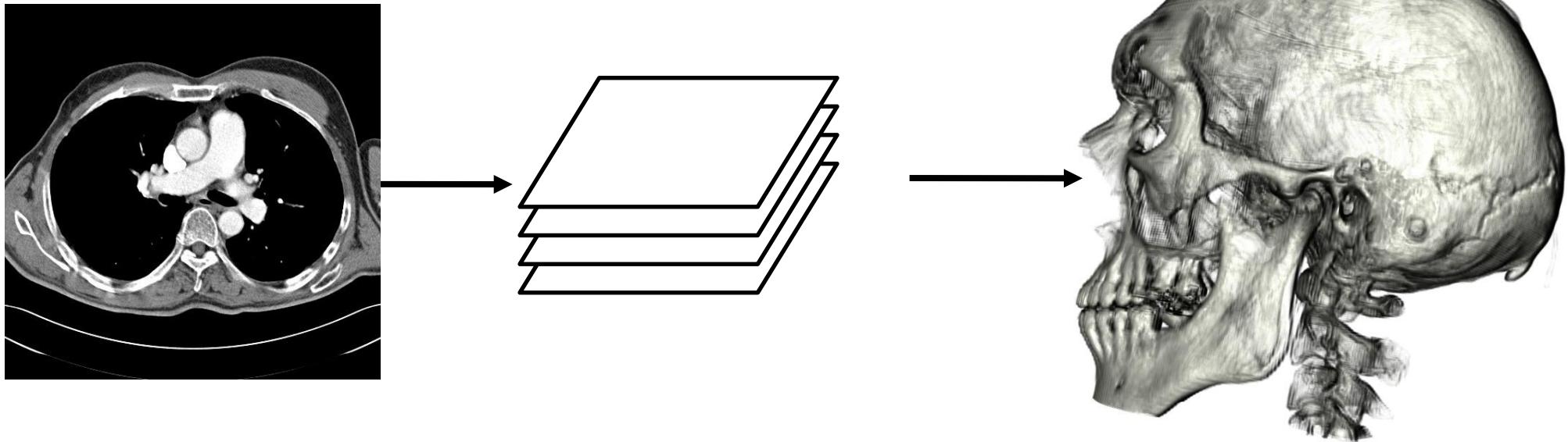
Tomografía axial computarizada (TAC)

- Emisor y detectores giran alrededor del paciente.
- Muchas radiografías (proyecciones) tomadas desde distintos ángulos alrededor del paciente.
- Combinando la información de distintos ángulos reconstruimos una sección en 2D (corte)



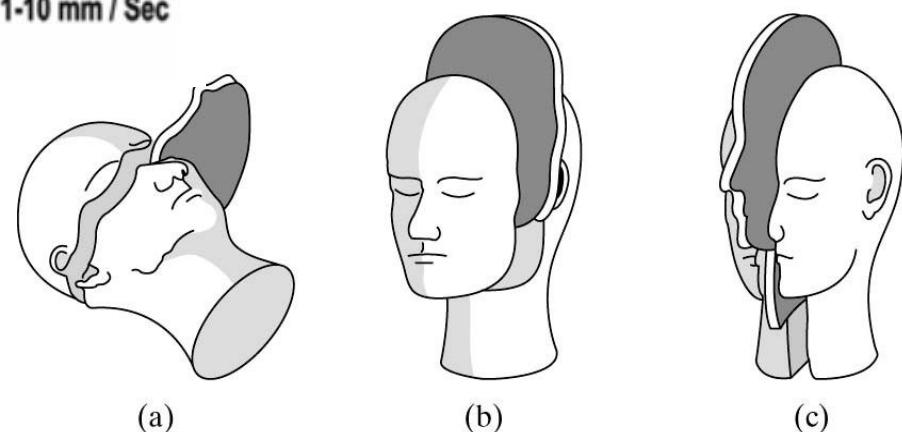
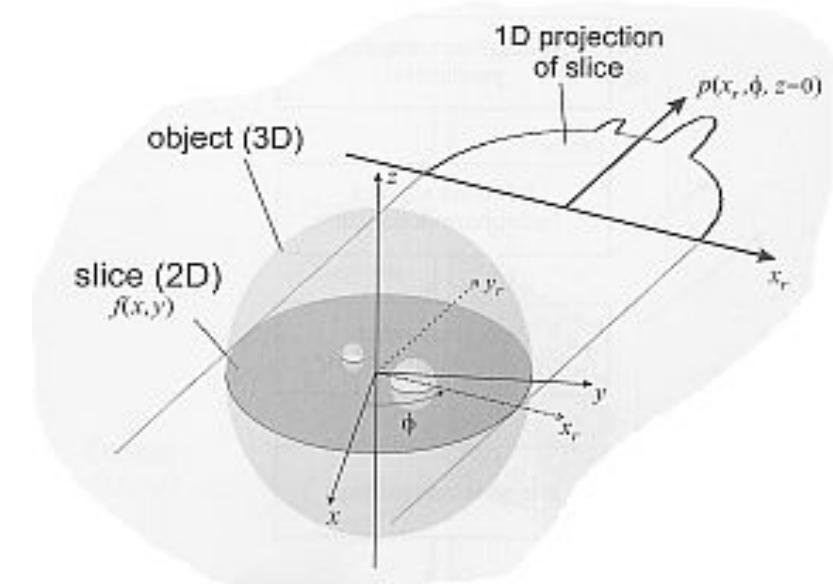
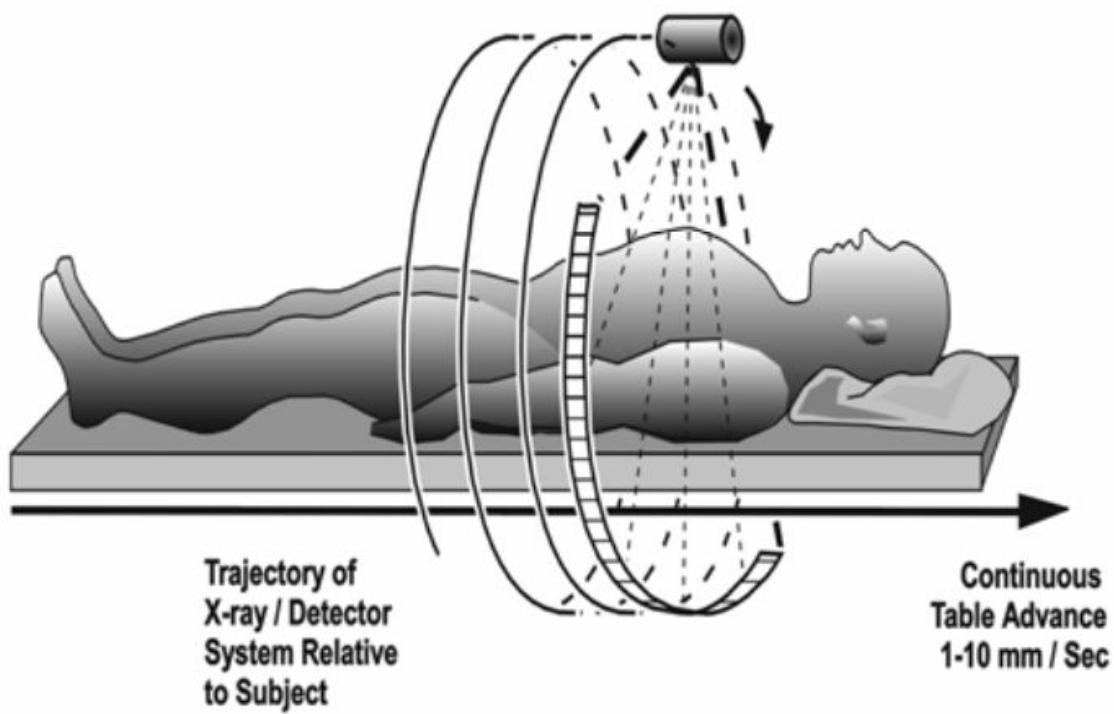
Tomografía axial computarizada (TAC)

- Combinando la información de distintos ángulos reconstruimos una sección en 2D (corte).
- El scan de todo el cuerpo del paciente y la combinación de todas las secciones nos da una imagen en 3D.



Tomografía axial computarizada (TAC)

- Necesaria la reconstrucción de imágenes



Tomografía axial computarizada (TAC)

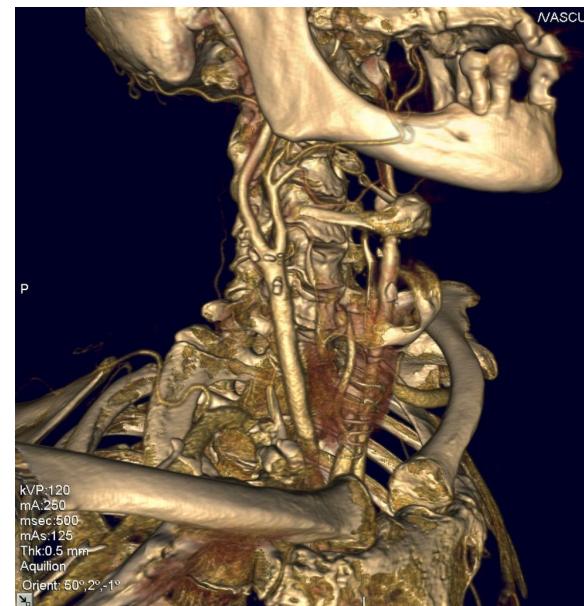
Imagen plana
(Radiografía)



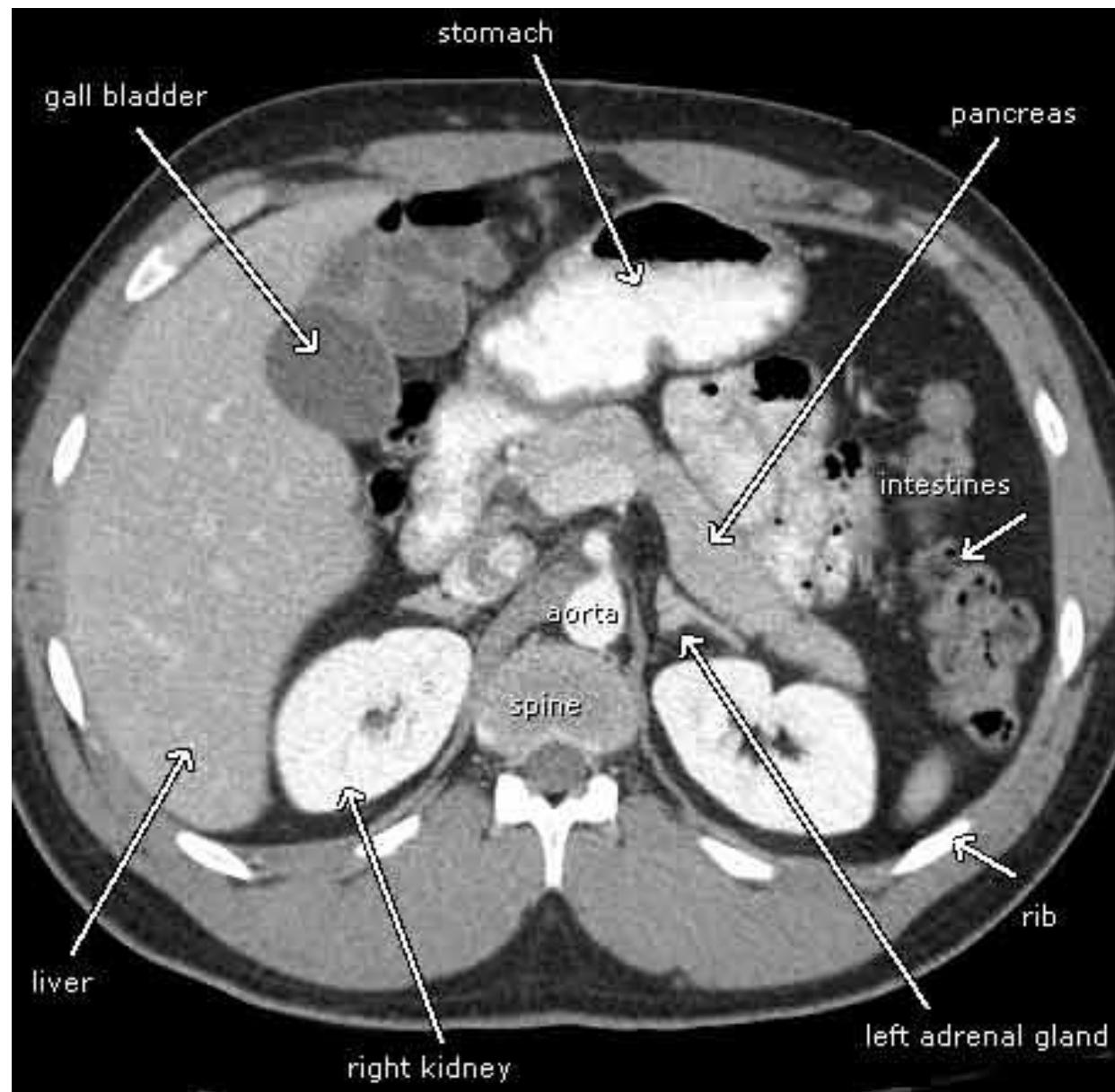
TAC



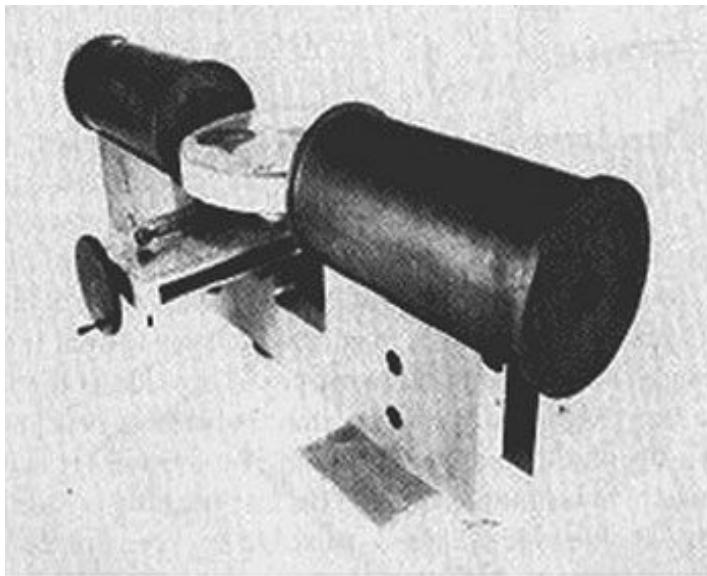
TAC con
contraste



Tomografía axial computarizada (TAC)



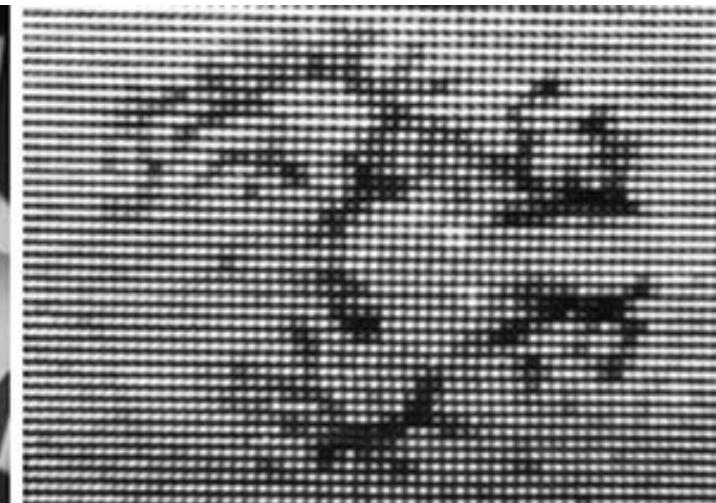
Tomografía axial computarizada (TAC)



Allan MacLeod Cormack, físico teórico, sentó las bases de la tomografía.

Tomógrafo de Cormack en 1963.

Godfrey Hounsfield hizo el primer escáner en 1968 e introdujo el ordenador.



Escáner de G.N. Hounsfield en 1968

Tomografía axial computarizada (TAC)

Godfrey Hounsfield y Allan Cormack ganaron el Premio Nobel en 1979

Entre 1974 y 1976 se instalaron los primeros escáneres

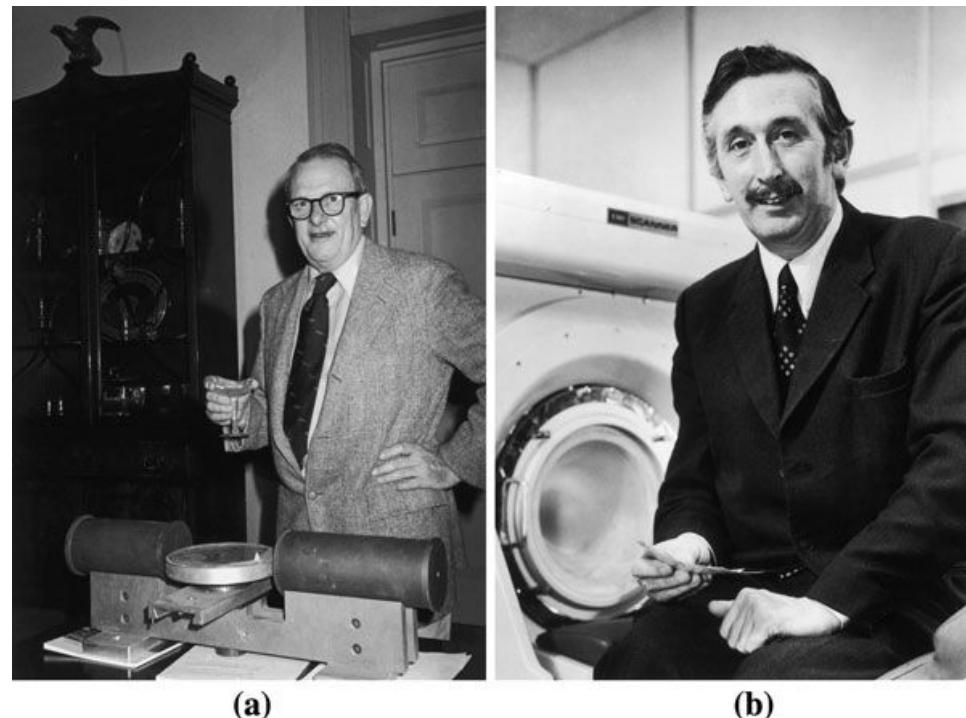


Fig. 2.10 Co-creators of computed tomography: Allan MacLeod Cormack (a), Godfrey Newbold Hounsfield (b)

En la actualidad es un método de diagnóstico ampliamente utilizado.

Imagen médica funcional. PET y SPECT

Estructural

TAC



Resonancia magnética

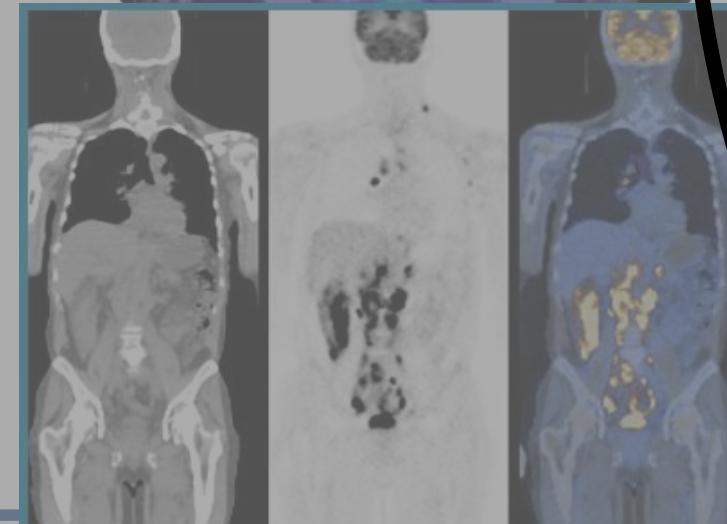
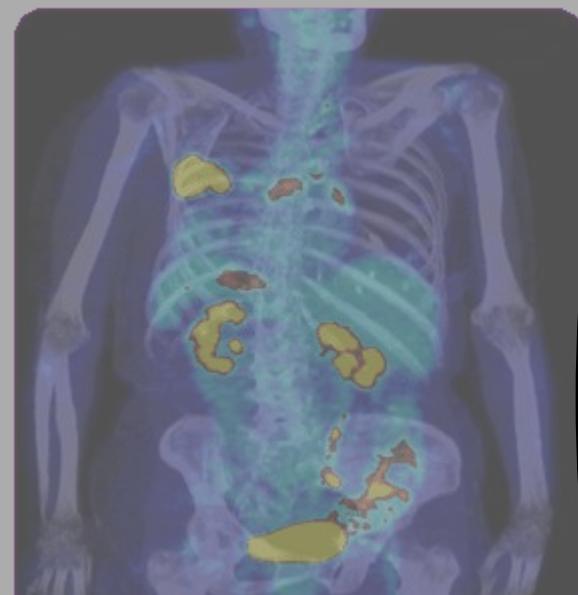


Ecografía



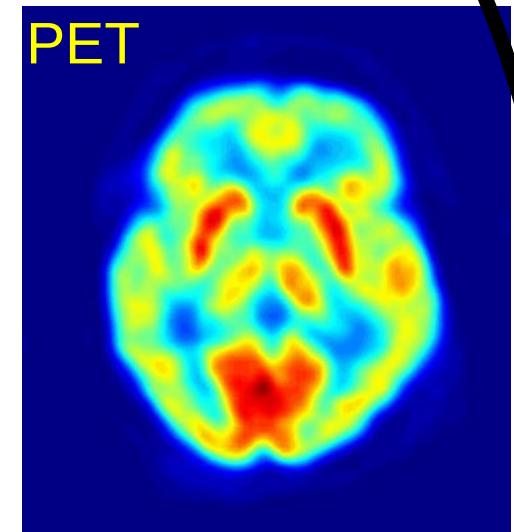
Multimodalidad

PET-TAC

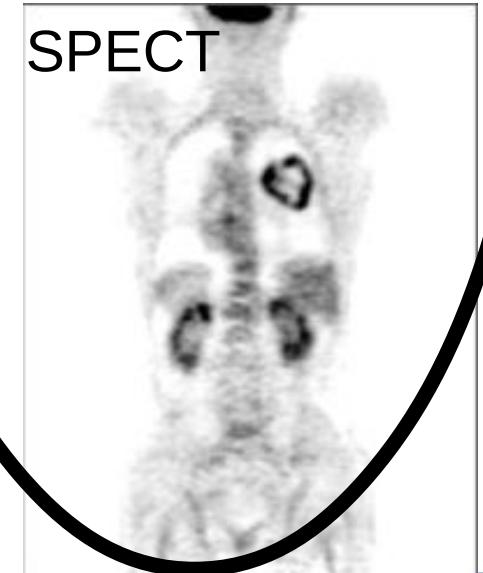


Funcional

PET

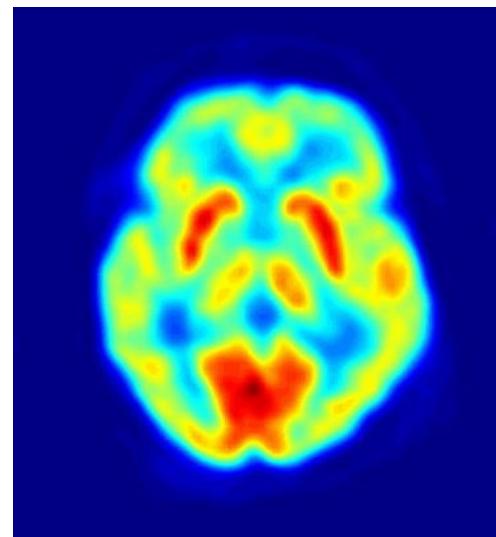


SPECT



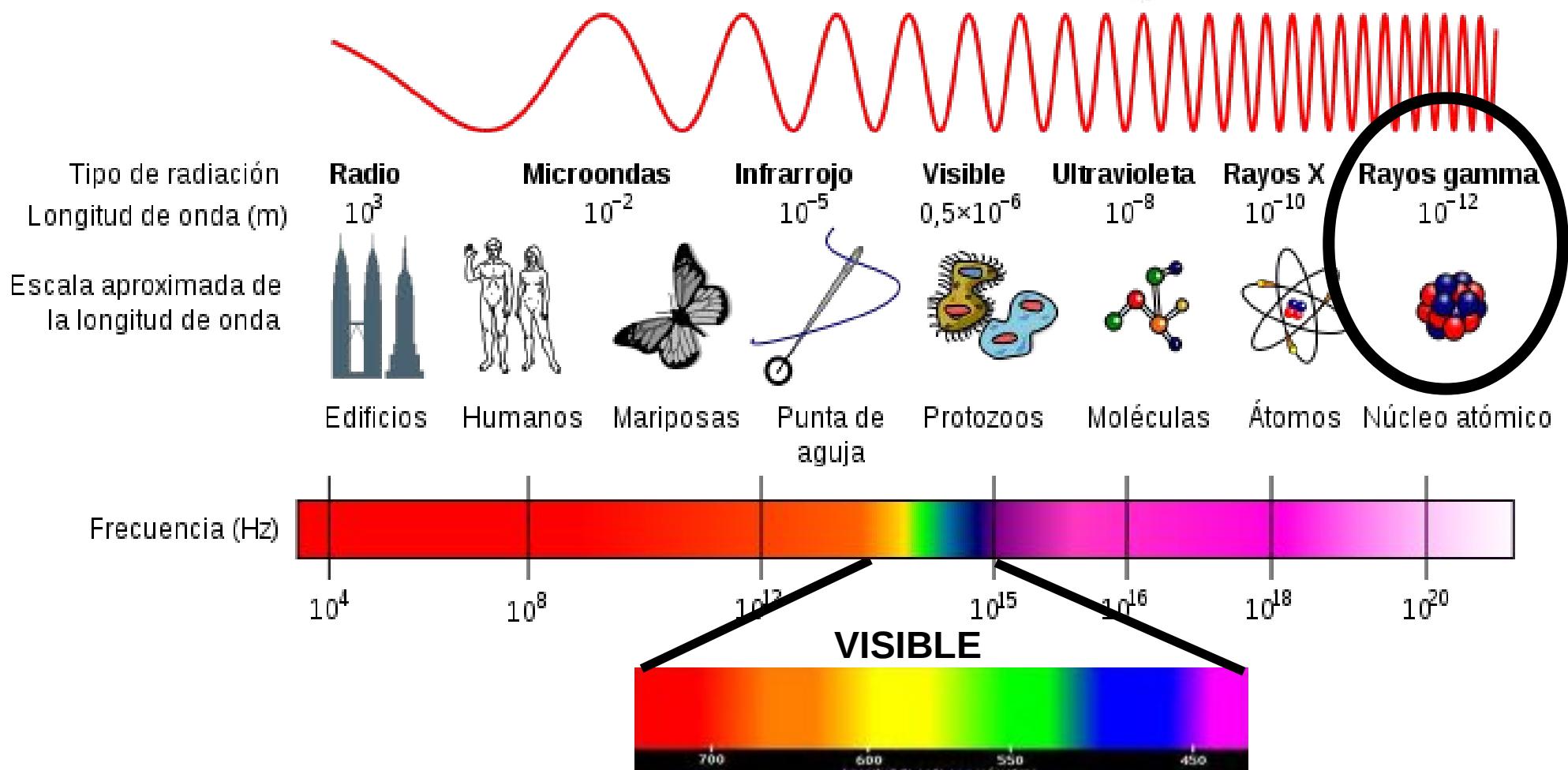
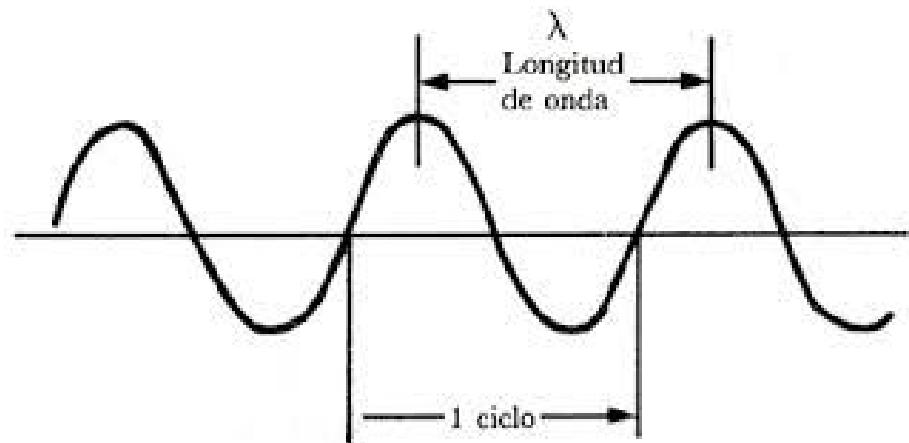
Principales técnicas funcionales

- Permiten ver el 'funcionamiento' de un órgano: procesos funcionales y metabólicos.
 - Gammagrafía,
 - Tomografía por emisión de un fotón (SPECT),
 - Tomografía por emisión de positrones (PET).
- Aplicaciones en oncología, neurología y cardiología.



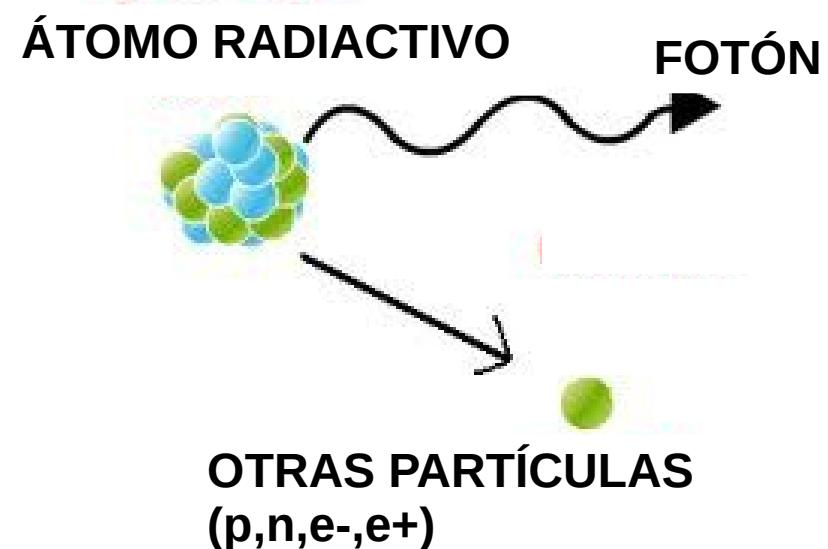
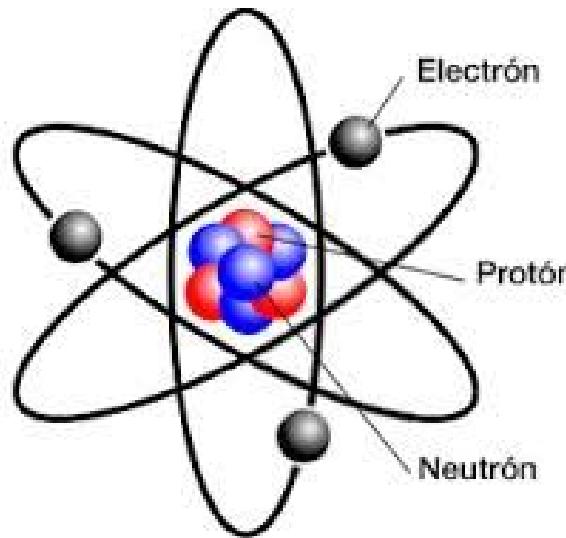
Fotones

- Para imagen



Fotones

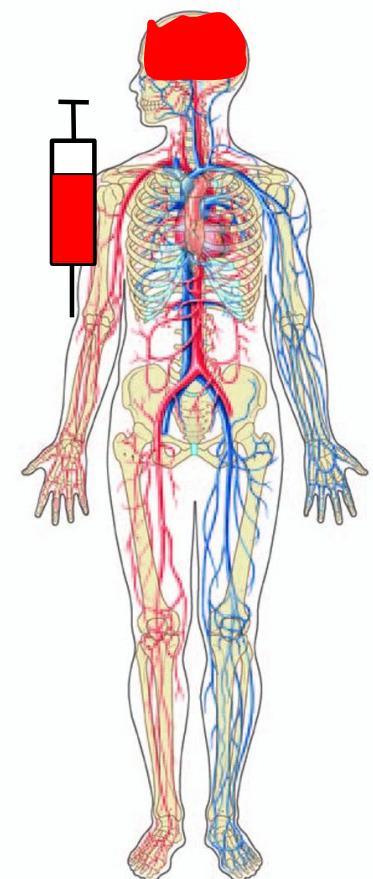
Desintegración radiactiva de núcleos



Técnicas de emisión

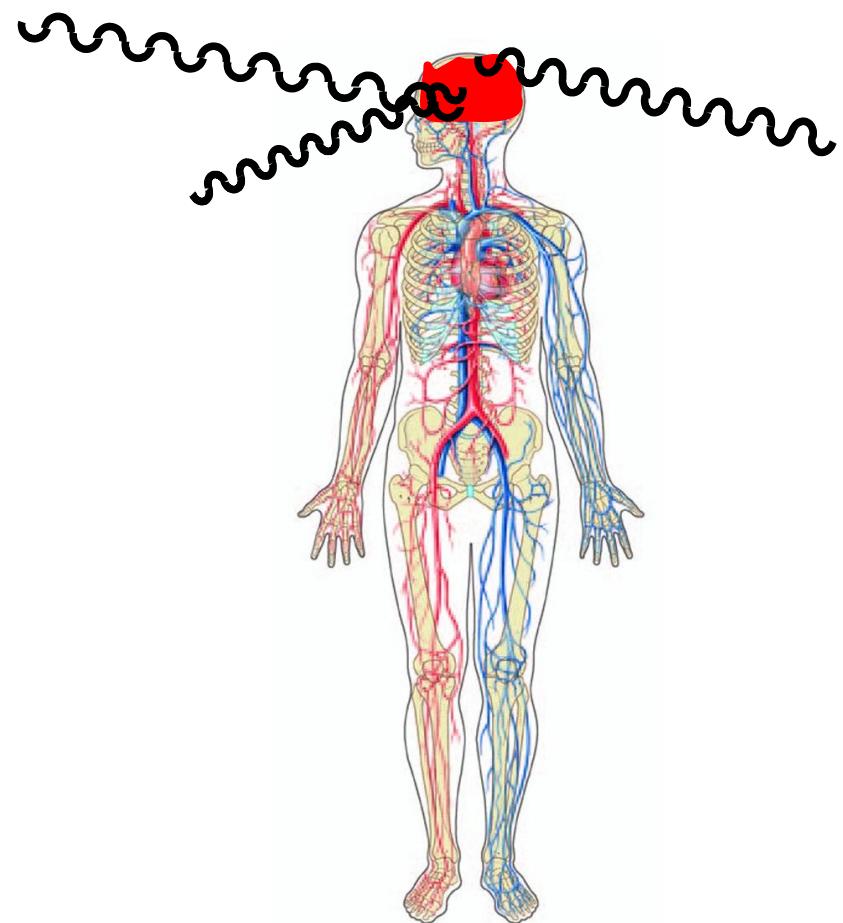
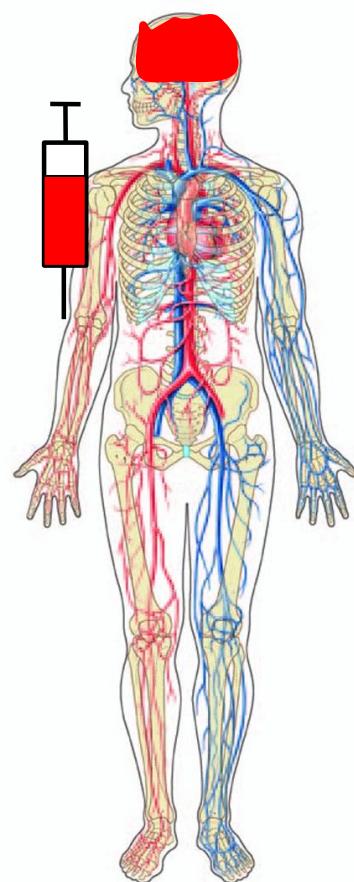
- Se administra al paciente un *radiotrazador*: sustancia con un componente radiactivo, preparada para acumularse en el órgano que queremos estudiar.

El radiotrazador se distribuye por todo el cuerpo y se concentra sobre todo en la zona en estudio.



Técnicas de emisión

- La sustancia radiactiva emite fotones que atraviesan el cuerpo y salen al exterior.
- Los detectamos con el detector

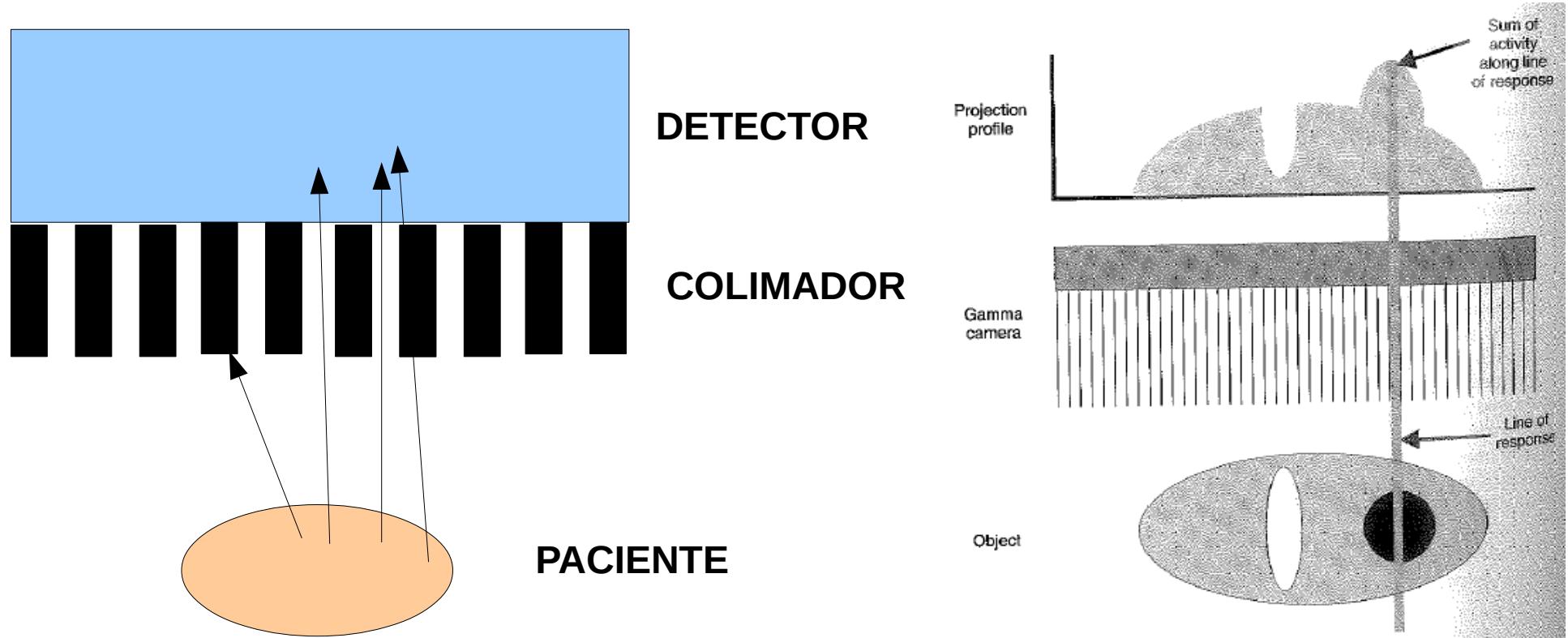


Gammagrafía

- Imagen plana de la emisión de fotones.
- Radiotrazadores emisores de fotones (100-300 keV)

Tecnecio-99m: $E=140$ keV, vida media=6 horas

Indio-111: $E=159$ keV, vida media=13 horas

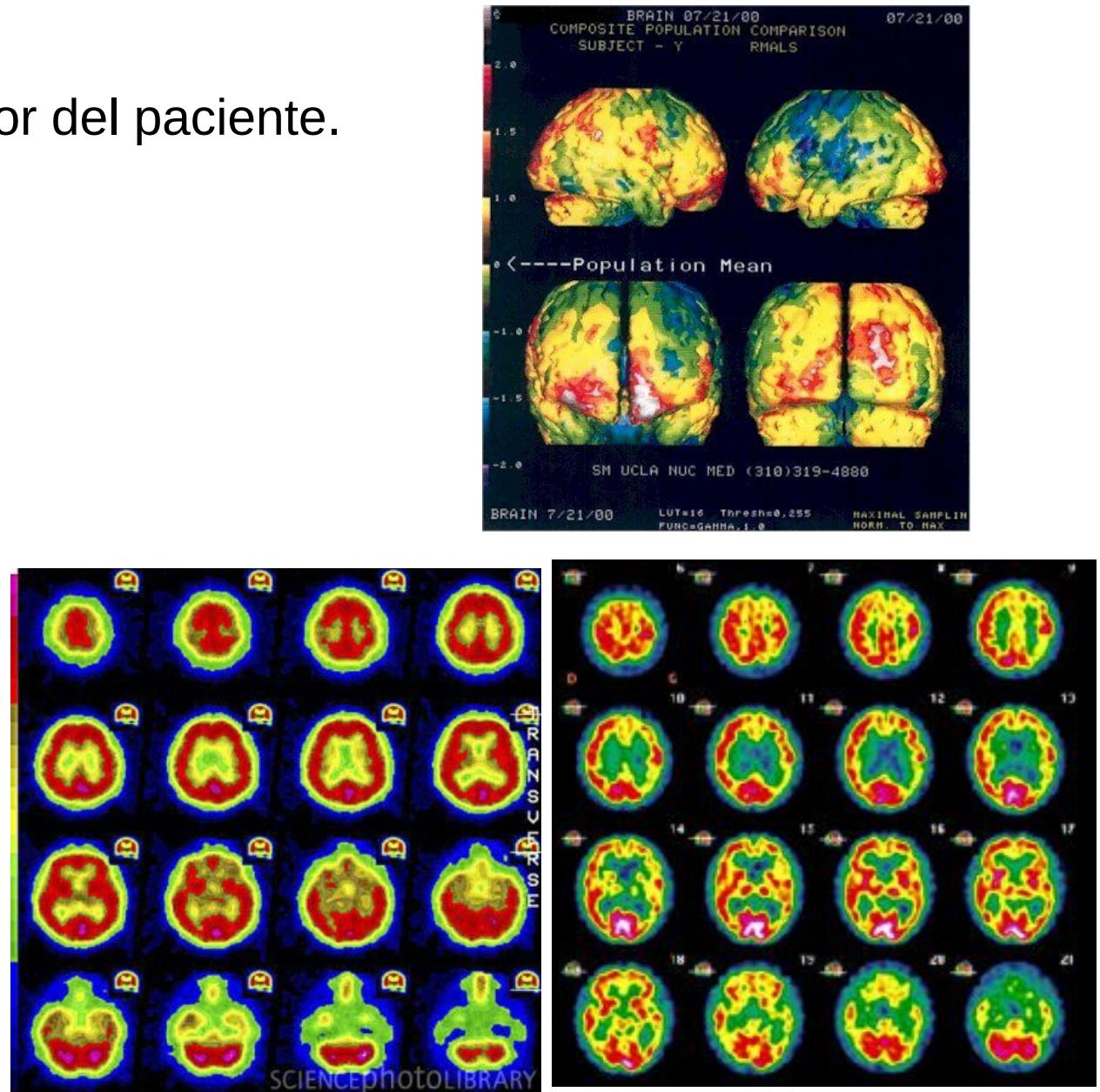


Gammagrafía

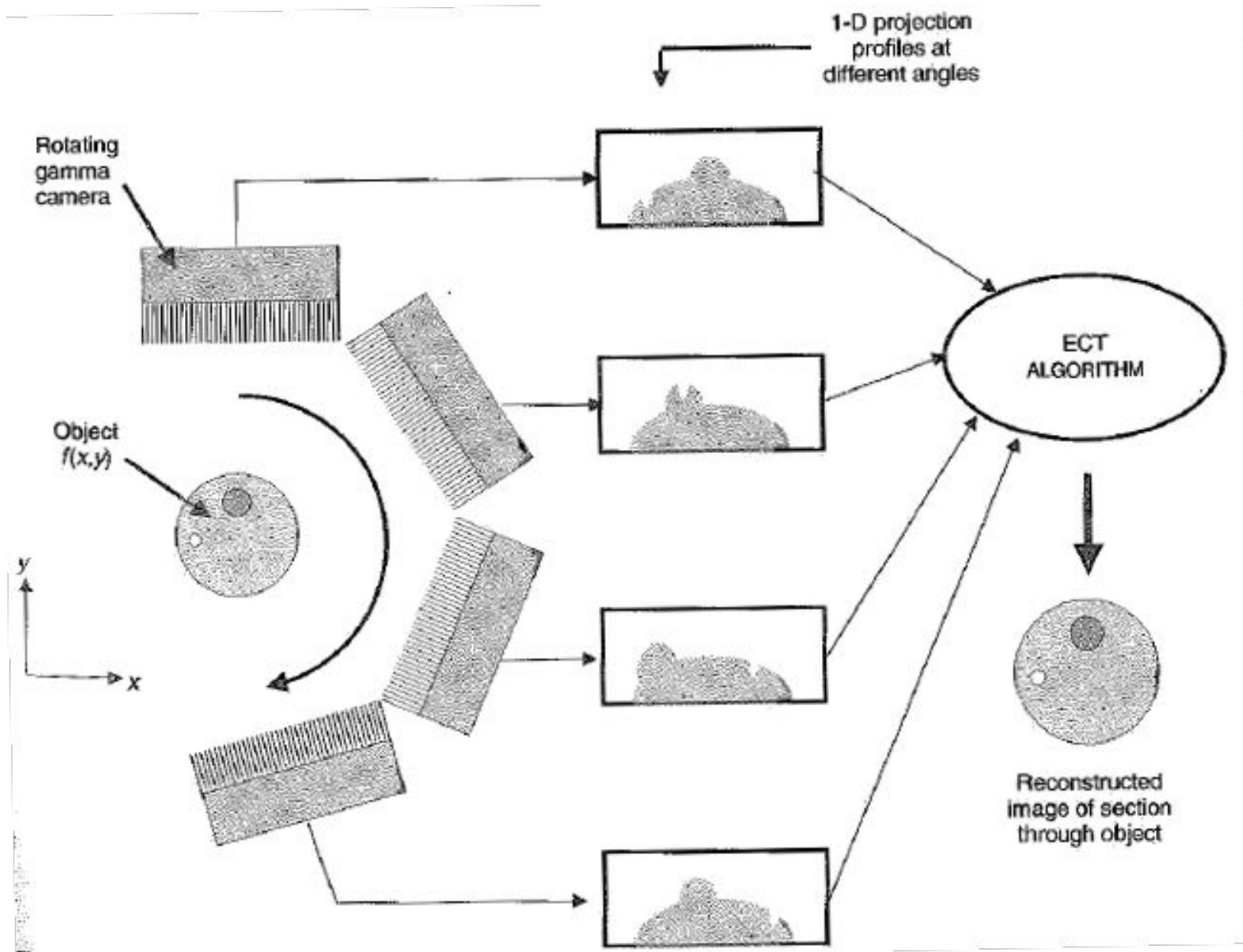


Tomografía por emisión de un fotón (SPECT)

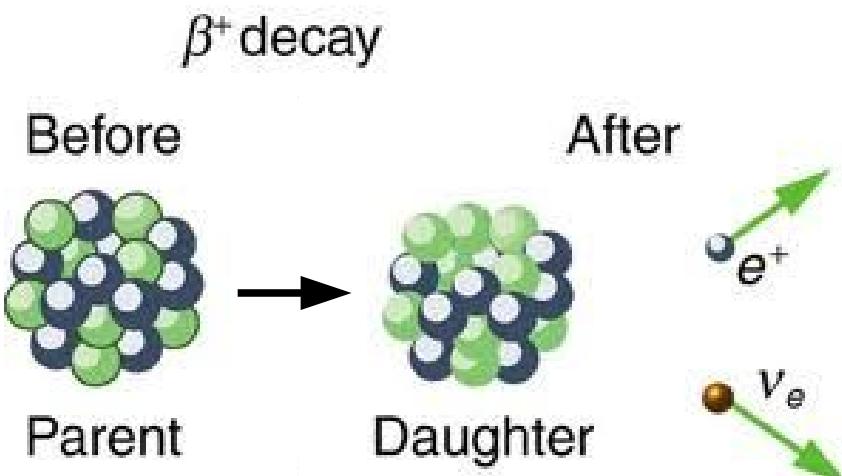
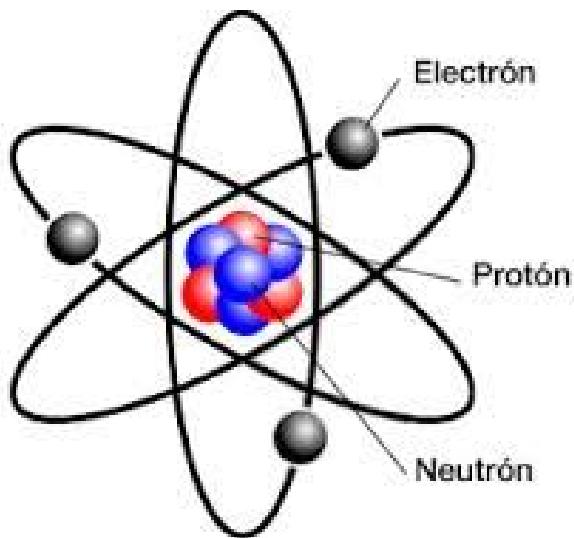
- El detector gira alrededor del paciente.
- Imágenes tomográficas



Reconstrucción de imágenes



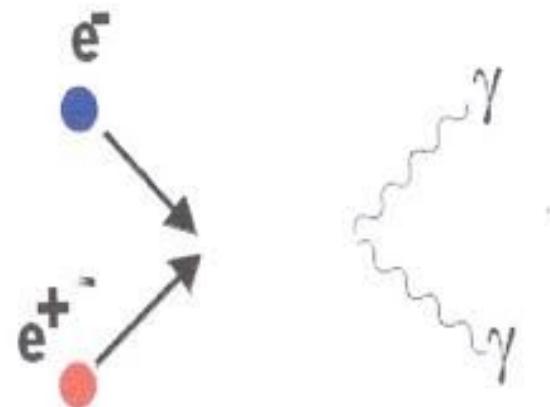
Positrones → Fotones



- Positrón: es la antipartícula del electrón

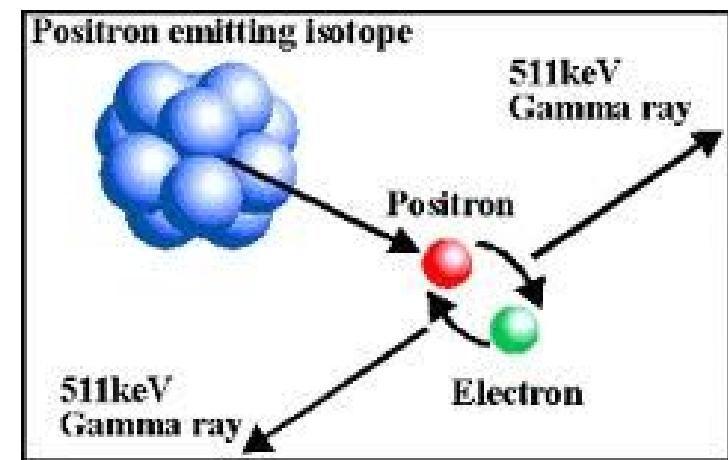
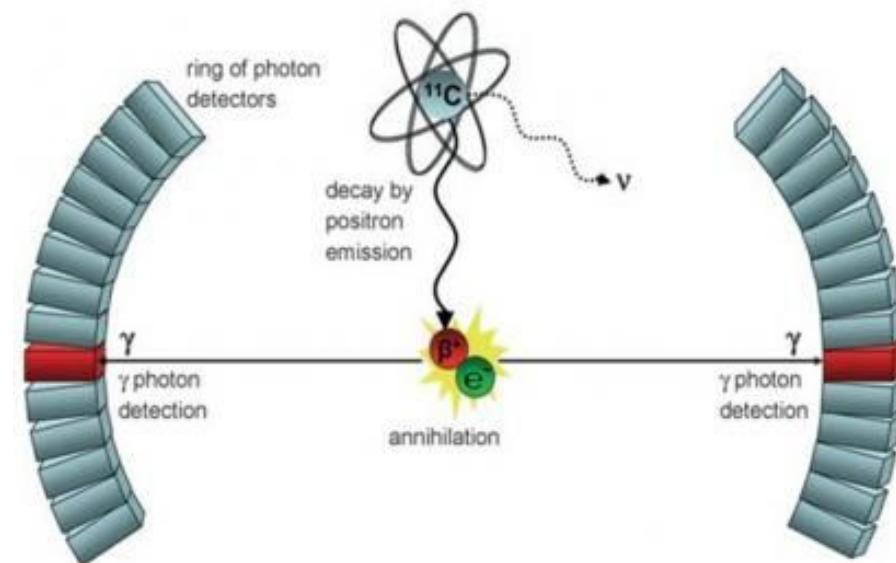
ANTIMATERIA!!

- misma masa y carga positiva
- Al encontrarse se aniquilan

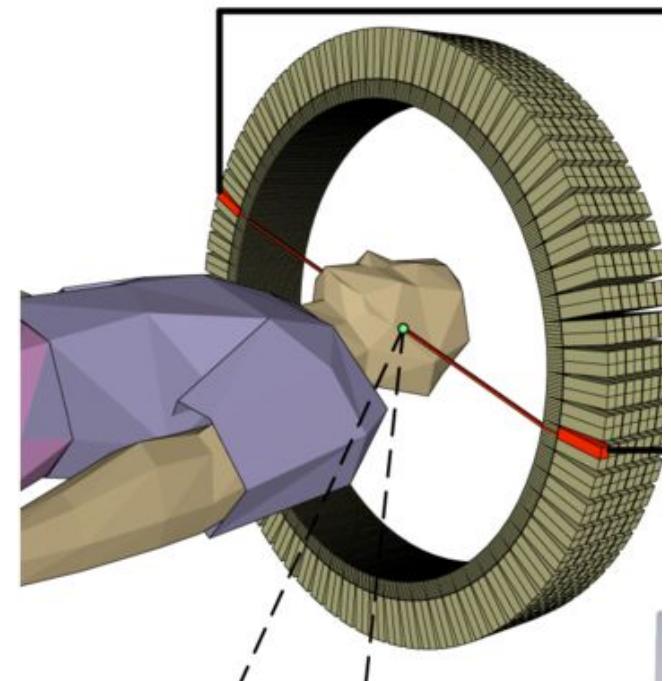


Tomografía por emisión de positrones (PET)

- El radiotrazador emite positrones, que se aniquilan con los electrones del tejido, produciendo dos fotones de 511 keV en sentidos opuestos.

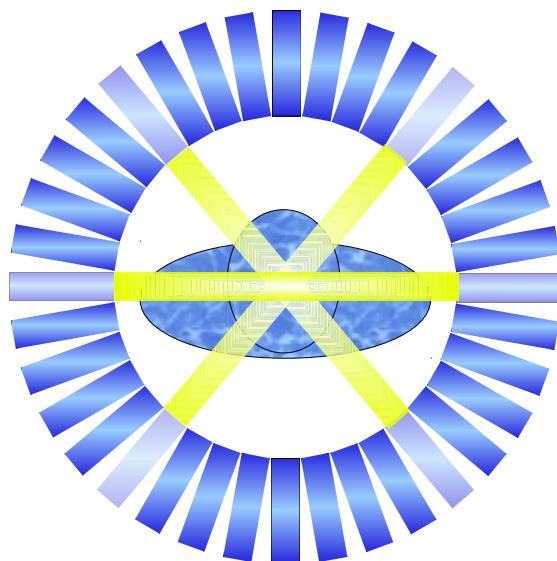


- Los dos fotones se detectan en un anillo de detectores



Tomografía por emisión de positrones (PET)

- Los dos detectores que detectan los fotones se conectan mediante una linea de respuesta (LOR).
- Muchas LORs 'identifican' el origen de los fotones.



Adquisición de datos

Reconstrucción de la imagen

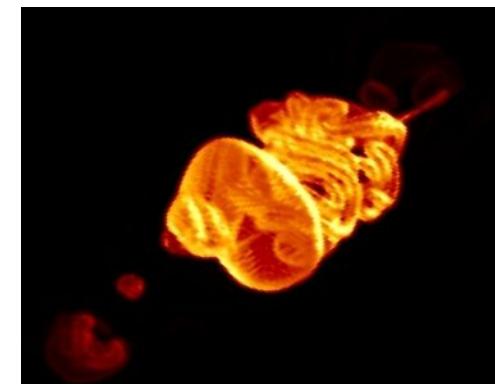
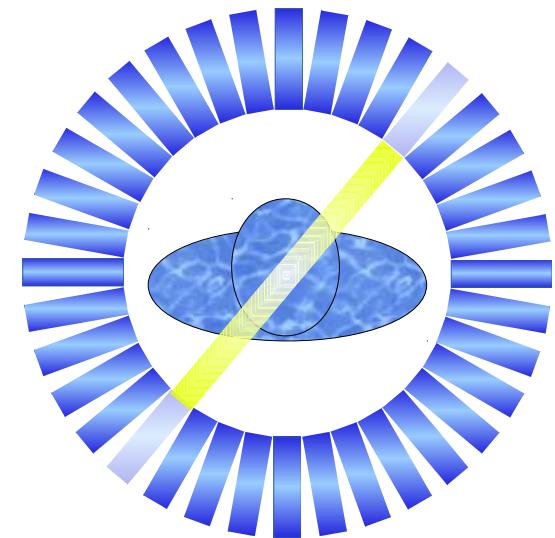
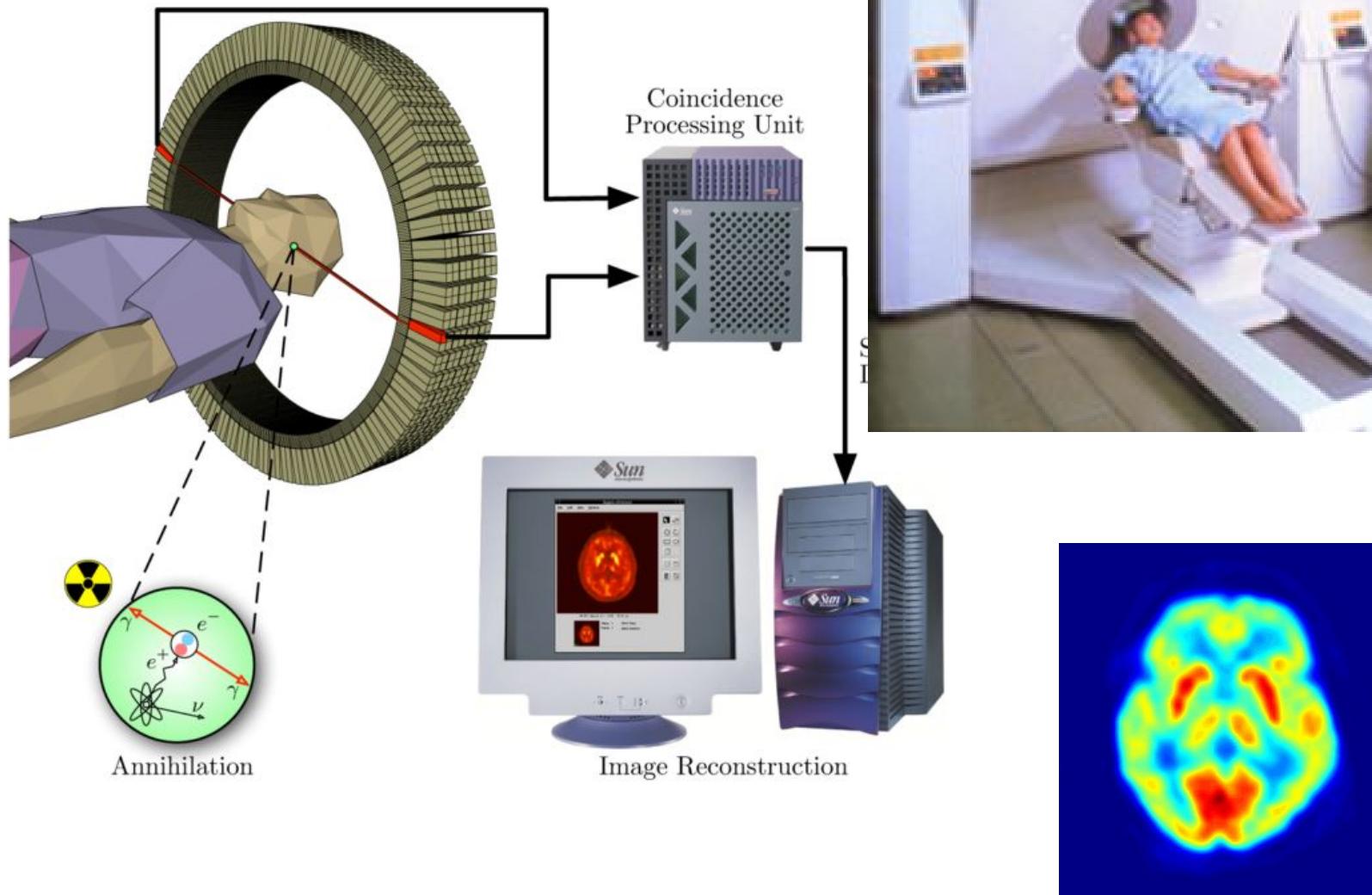


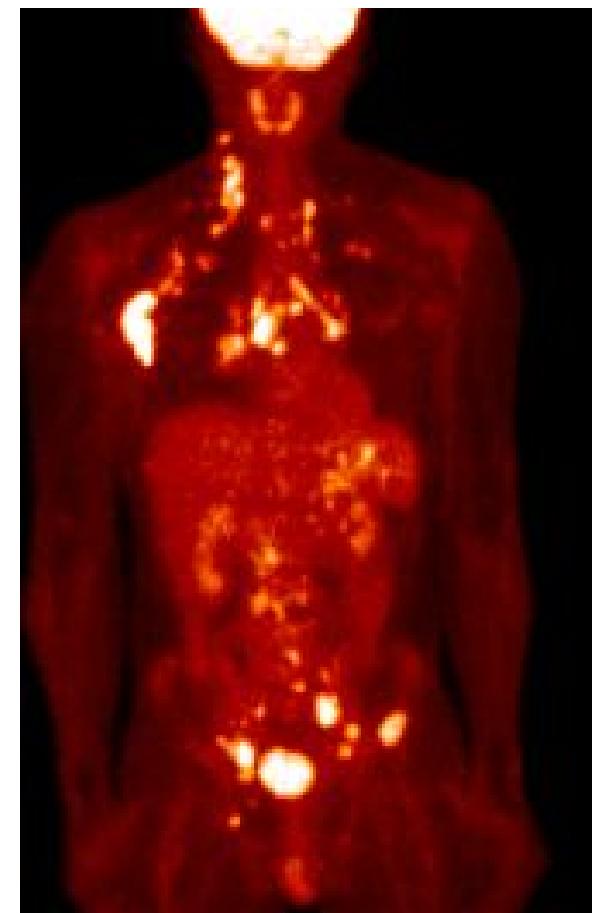
Imagen médica

Tomografía por emisión de positrones (PET)

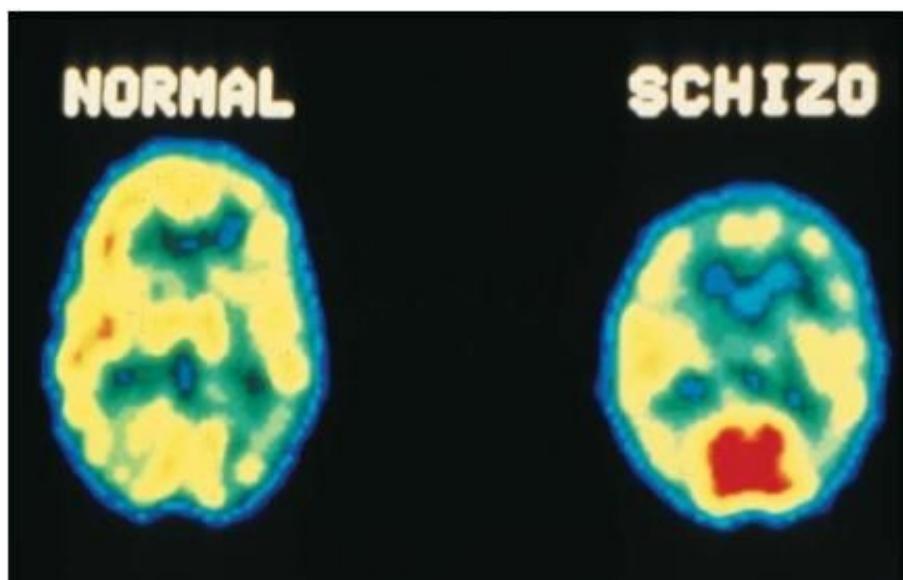
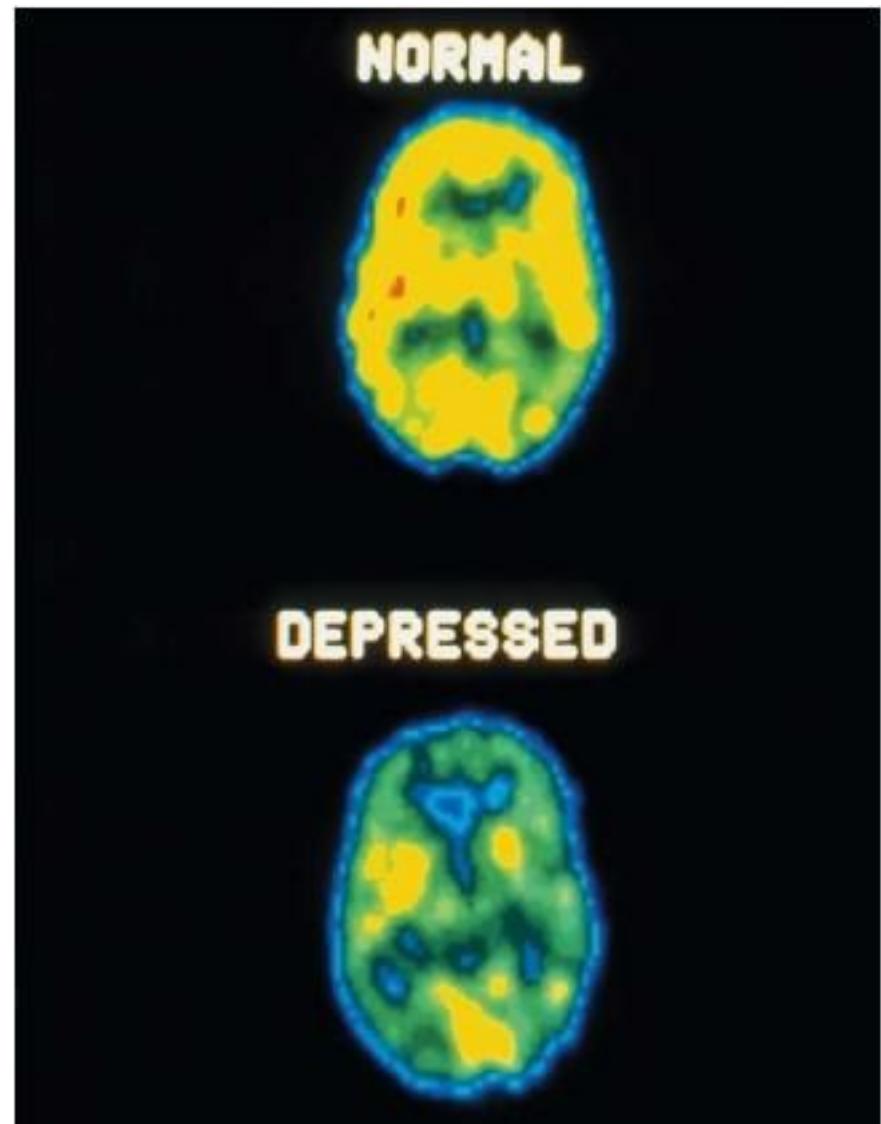
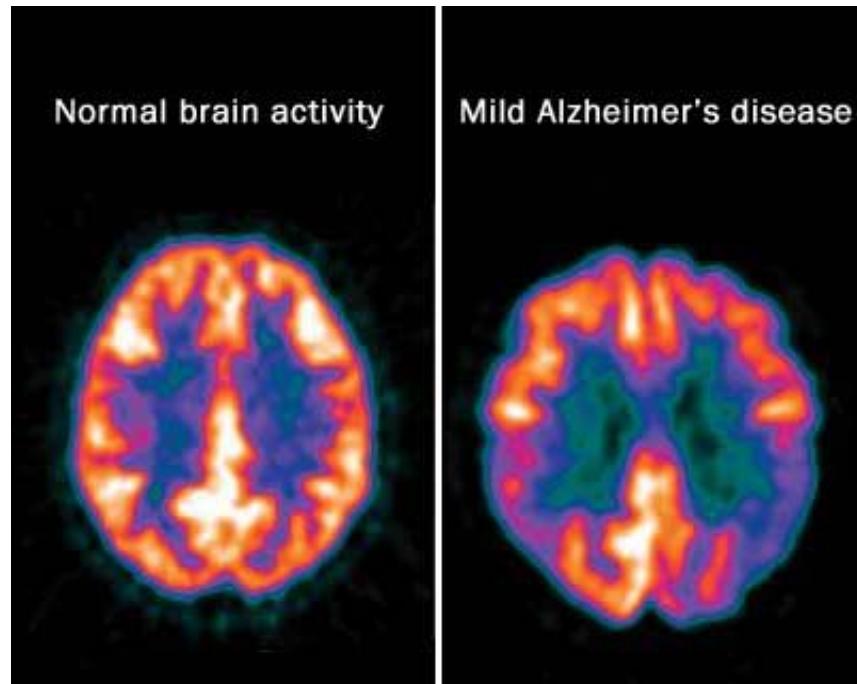


Tomografía por emisión de positrones (PET)

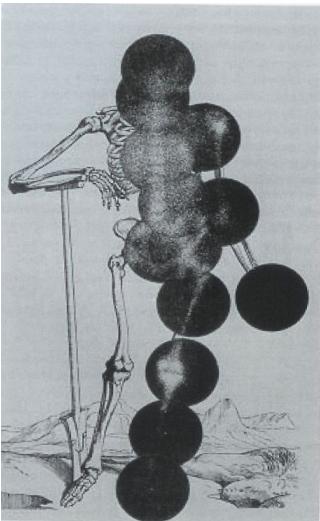
- Generalmente se usa $^{18}\text{F-FDG}$ (glucosa modificada)



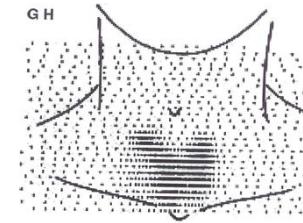
Tomografía por emisión de positrones (PET)



Más historia...



Mapeo manual con
contadores Geiger



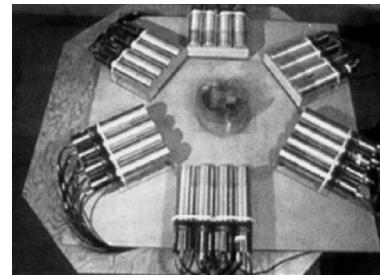
1951: Benedict Cassen inventa el primer escáner automático (detector pegado a un plotter).



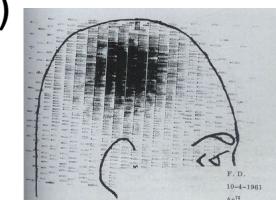
1952: Hal Anger inventa la cámara gamma.



1959: Inicio del SPECT (D. Kuhl)



1953: Primeras imágenes con positrones (Gordon Brownell)



1974: Primer PET para estudios humanos.
(M. Phelps, E. Hoffman, T. Pogossian)

Imagen médica multimodalidad

Estructural

TAC



Resonancia magnética

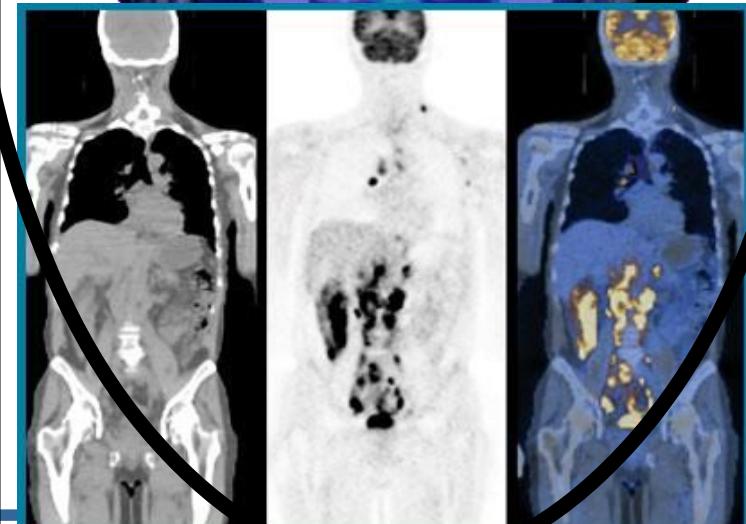


Ecografía



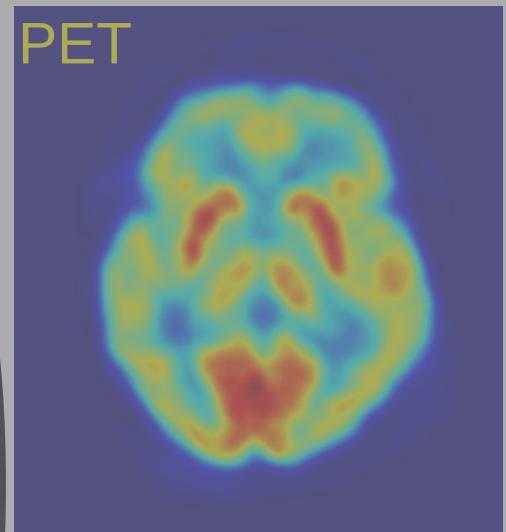
Multimodalidad

PET-TAC



Funcional

PET

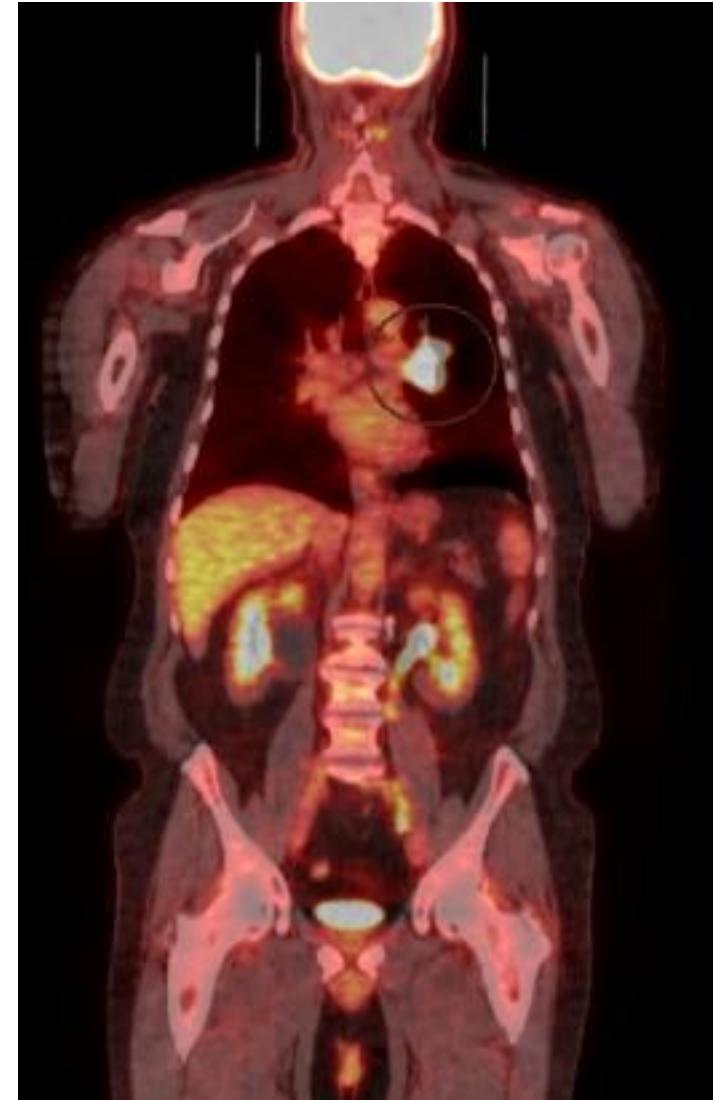


SPECT



Multimodalidad

- Combina imágenes de dos tipos. En general estructurales y funcionales
- Casi todos los hospitales compran ahora PET-TAC.
- En el futuro PET-MR?
 - Primeros equipos existentes.
 - Mucha mejor resolución.
 - Posibilidad de ver los tejidos blandos.
 - Menor dosis de radiación.

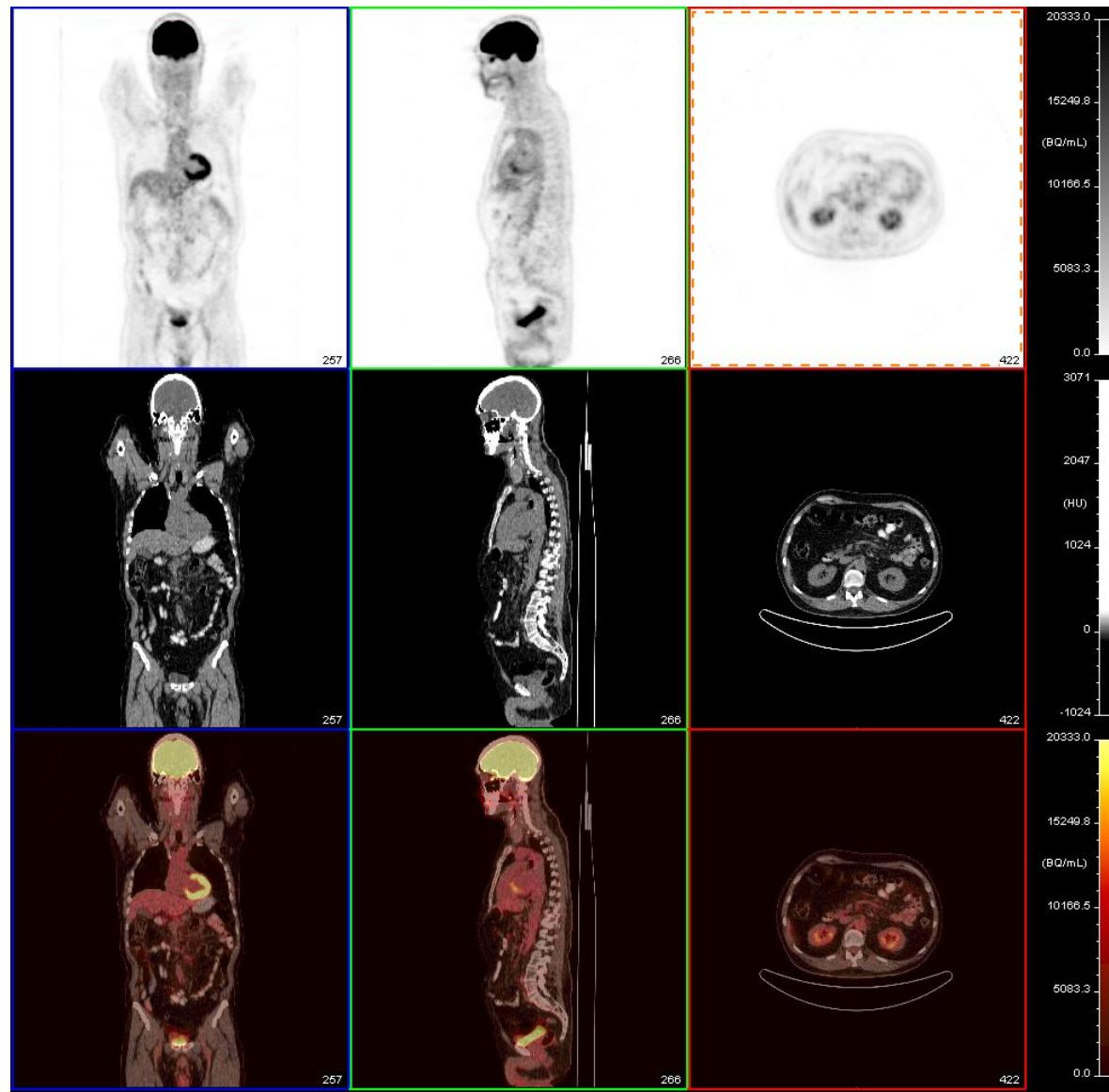


Multimodalidad

PET

TAC

PET
+
TAC

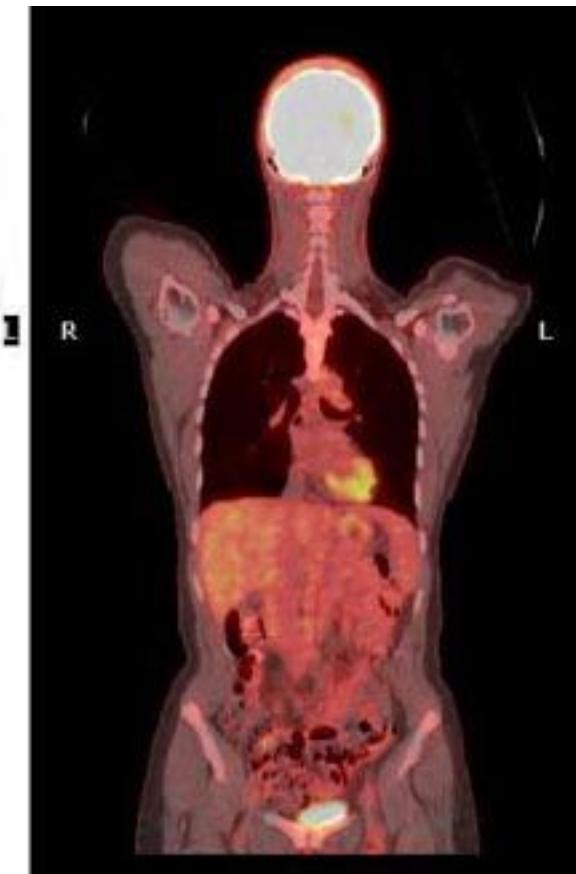


información
funcional

información
anatómica

información
anatómica
y
funcional

Multimodalidad

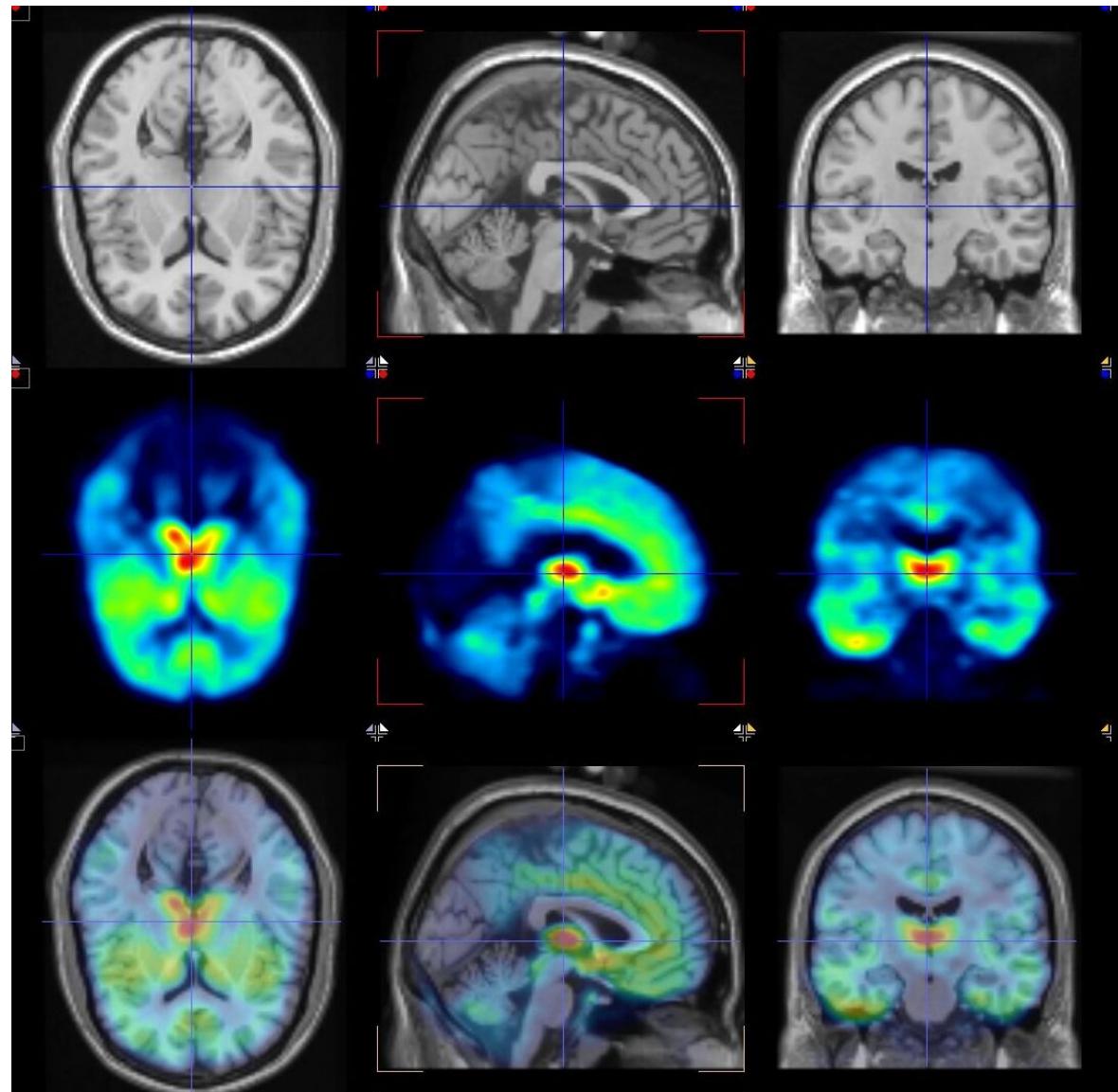


Multimodalidad

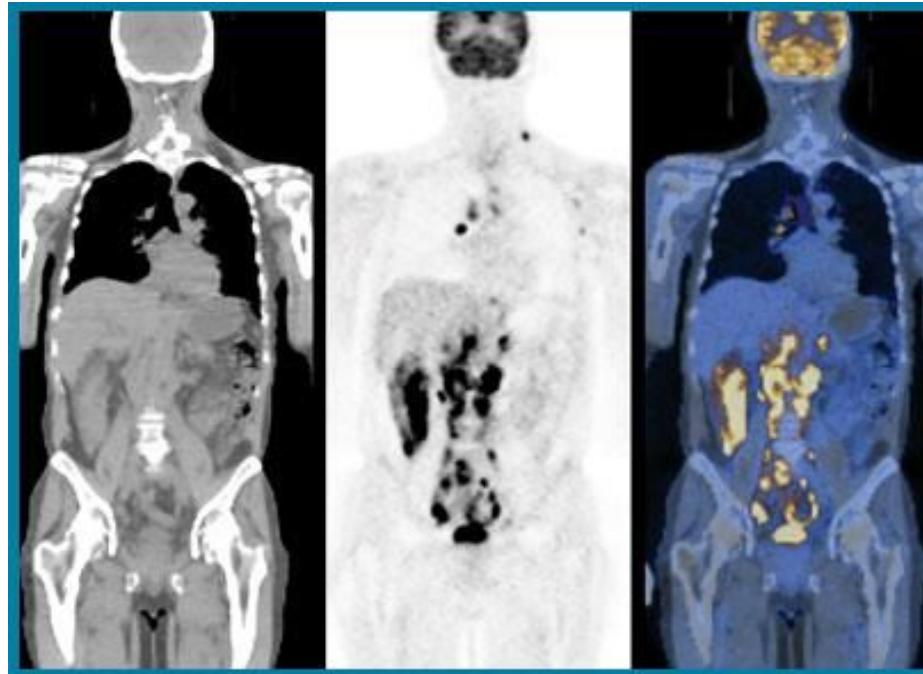
RM:
anatomía

PET:
función

RM + PET:
información
funcional
y anatómica

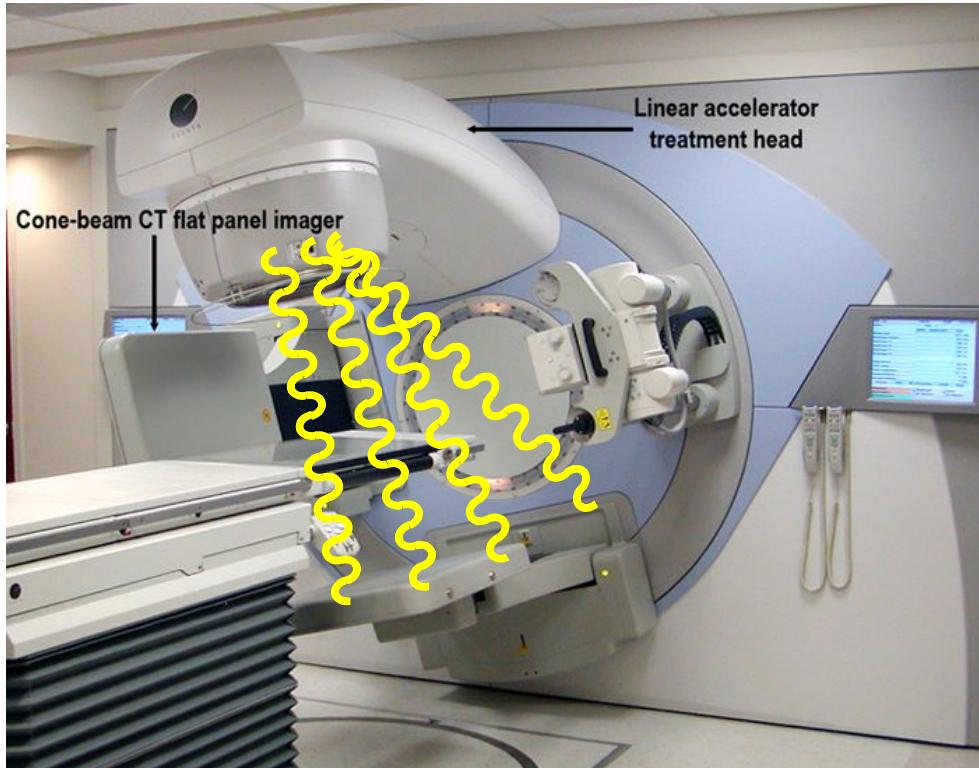


Radioterapia y terapia hadrónica



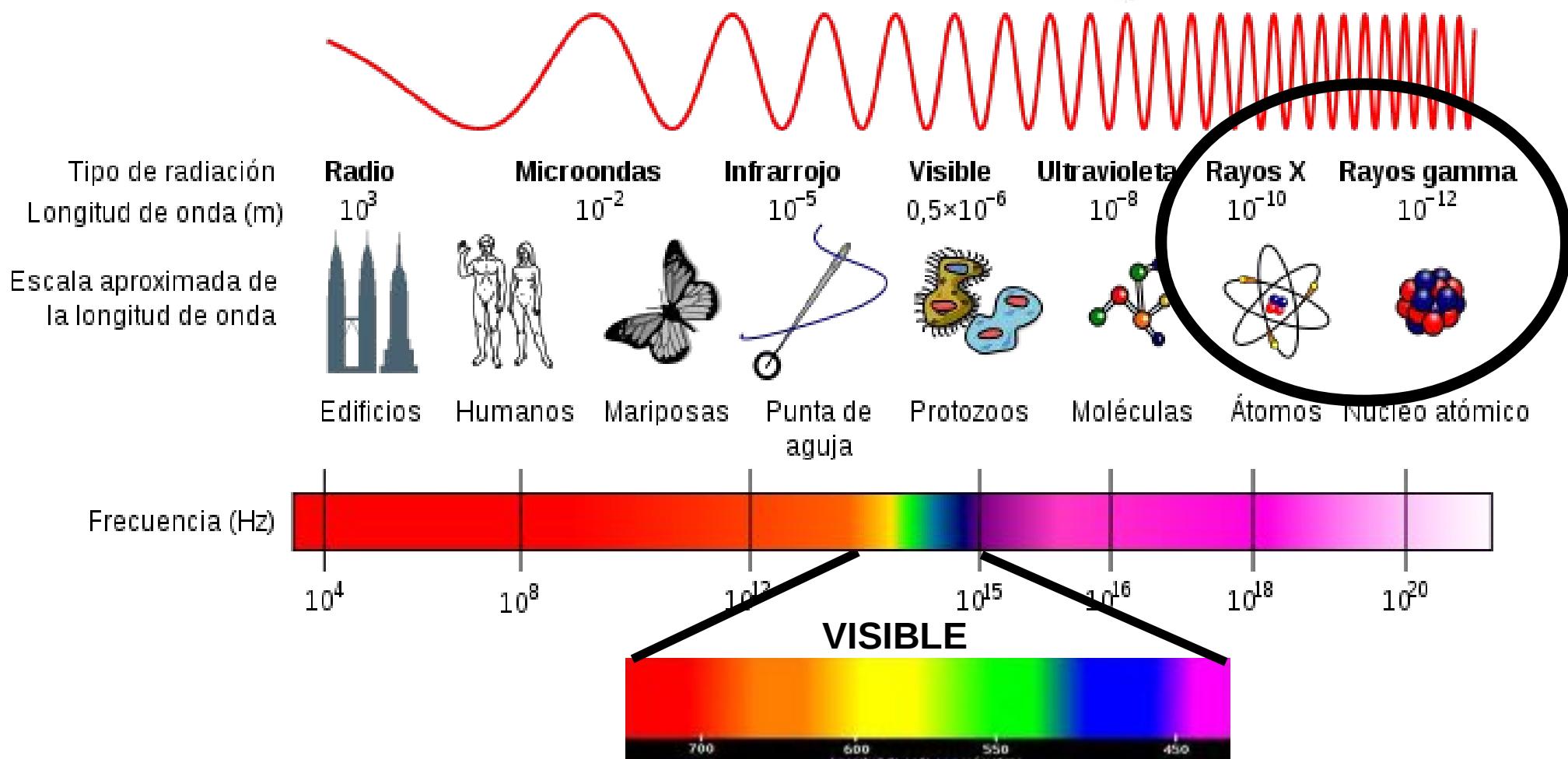
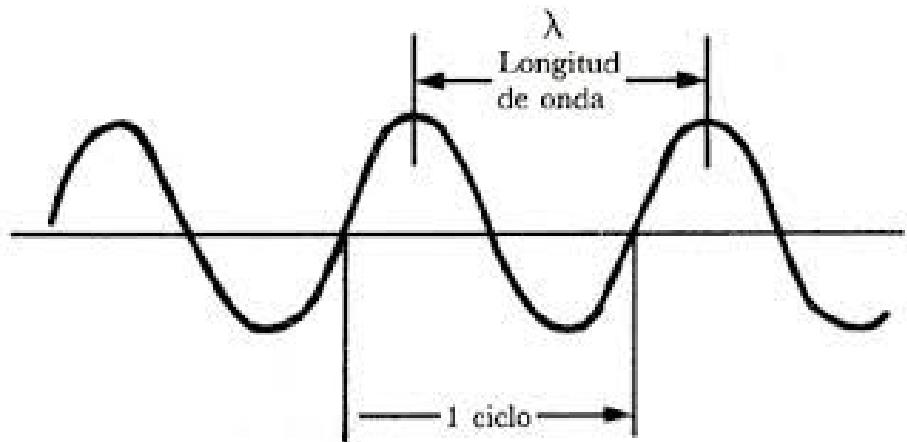
Radioterapia y terapia hadrónica

- La radiación destruye el tejido.
 - Enfocada al tejido canceroso.
 - El tejido sano tiene mayor capacidad de recuperación.

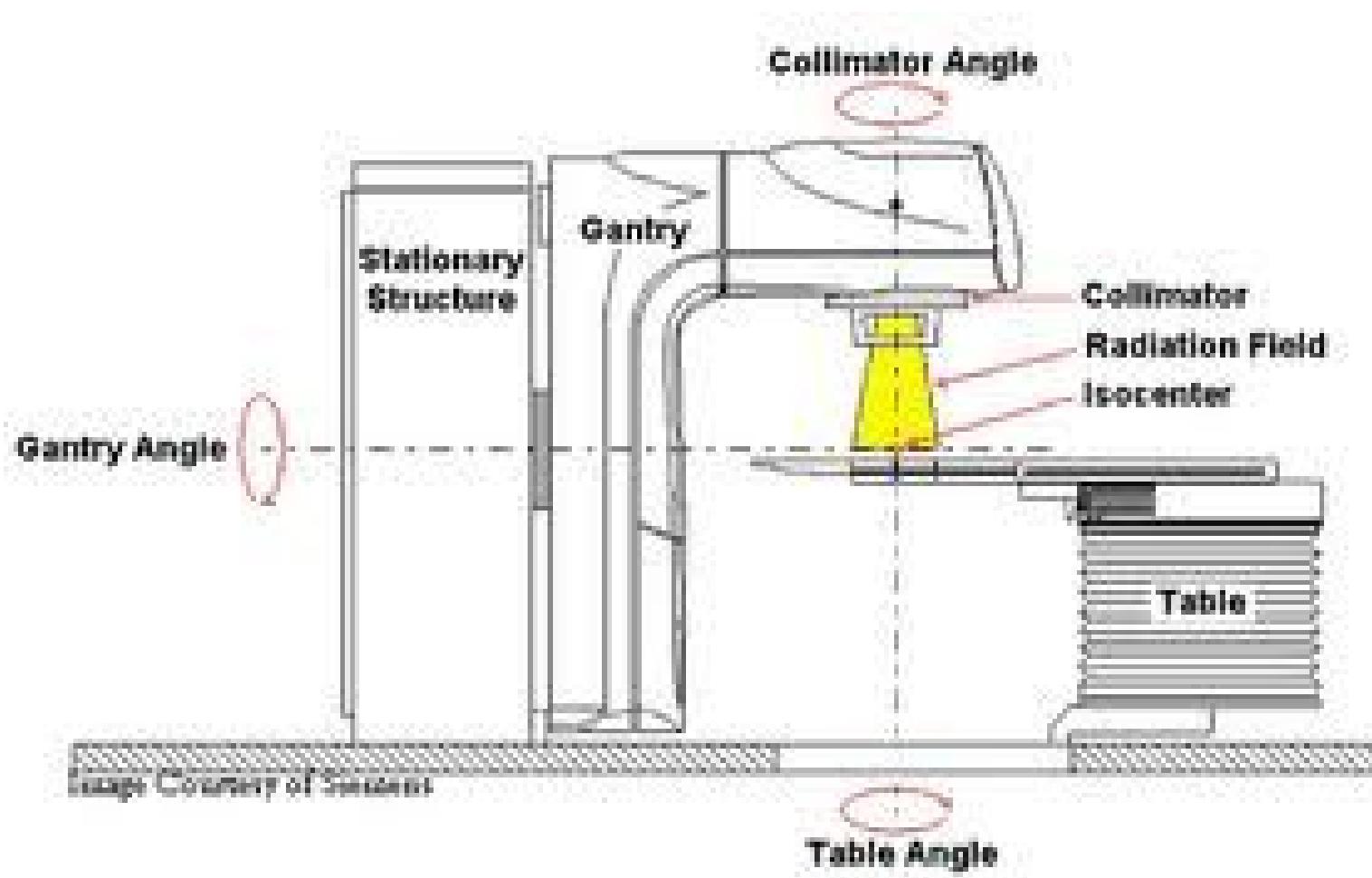


Fotones

- Tratamiento de radioterapia



Fotones para radioterapia

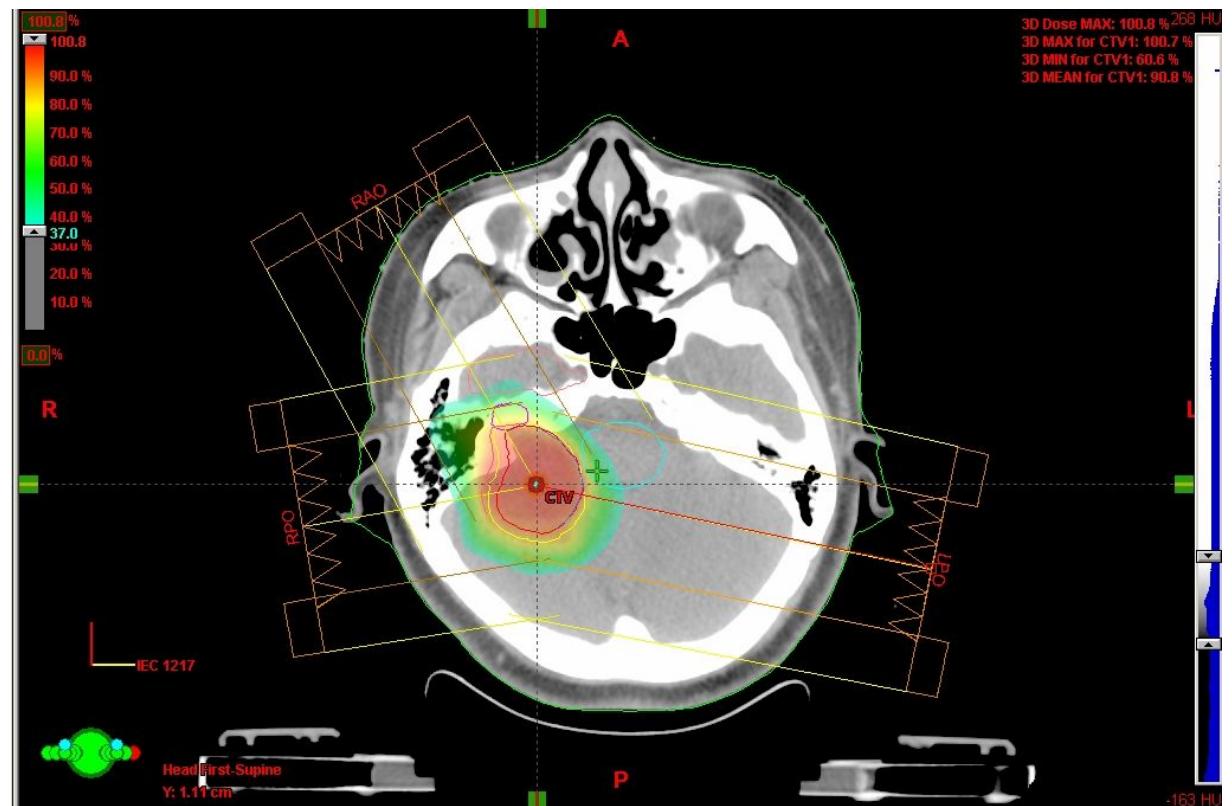


Aceleradores para radioterapia

Radioterapia

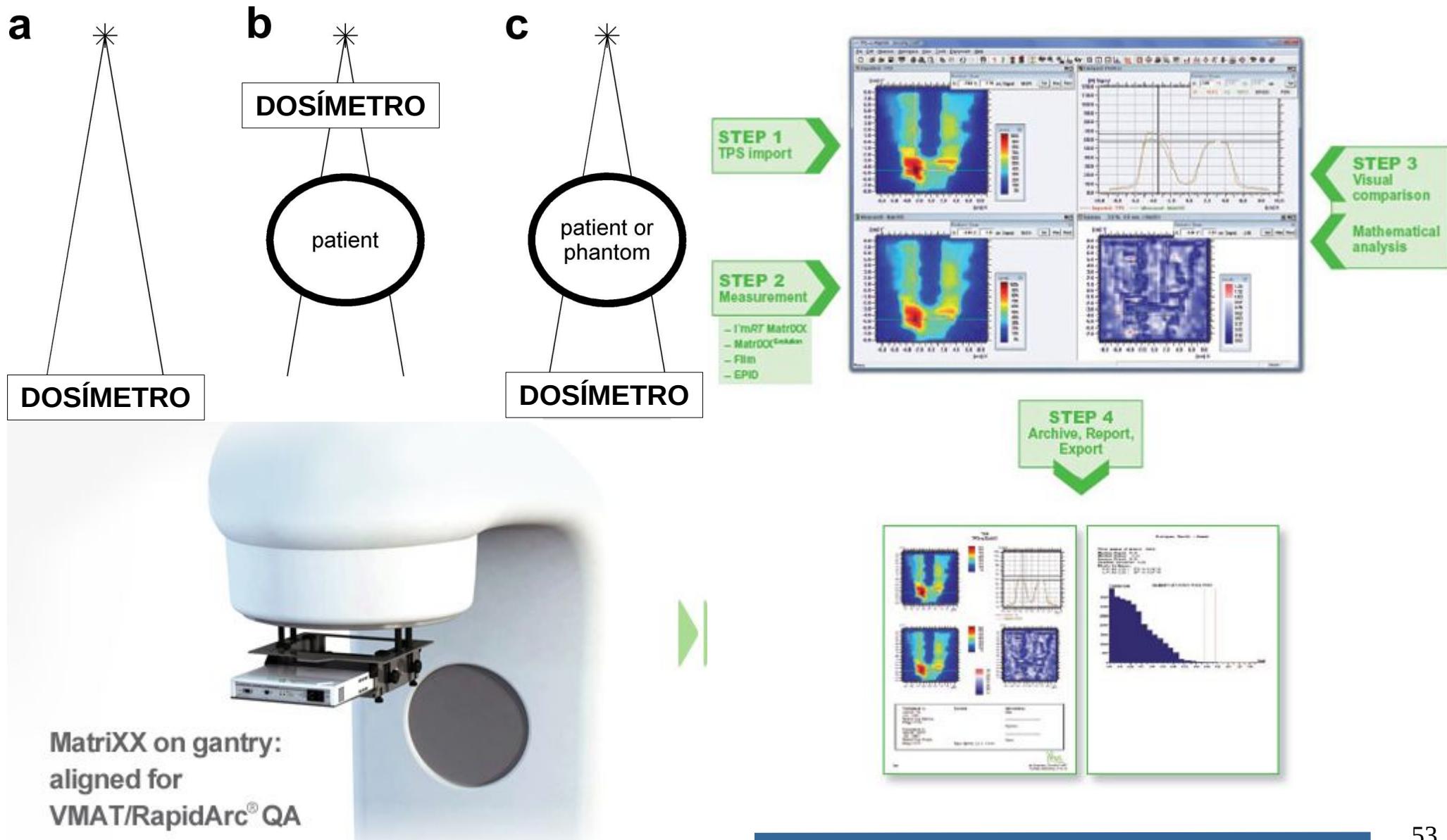
- Planificación: Los radiofísicos en los hospitales estudian la mejor forma de irradiar el tumor evitando dañar el tejido sano. El médico decide.
- Se basan en imágenes previamente adquiridas para saber donde está.

Existen técnicas para ajustar la radiación al tumor.



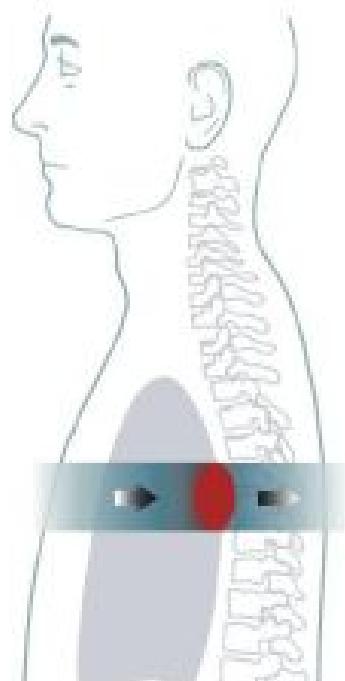
Radioterapia

- Dosimetría para ver la dosis administrada.

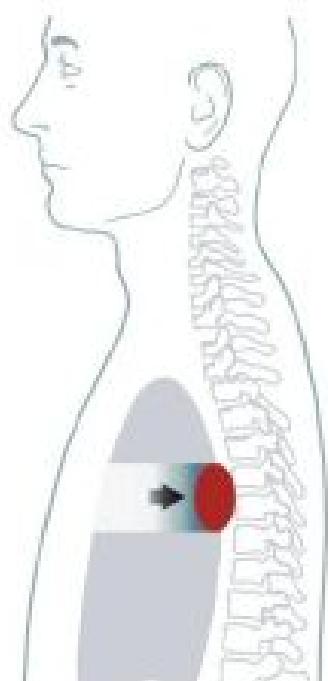


Terapia hadrónica o Hadronterapia

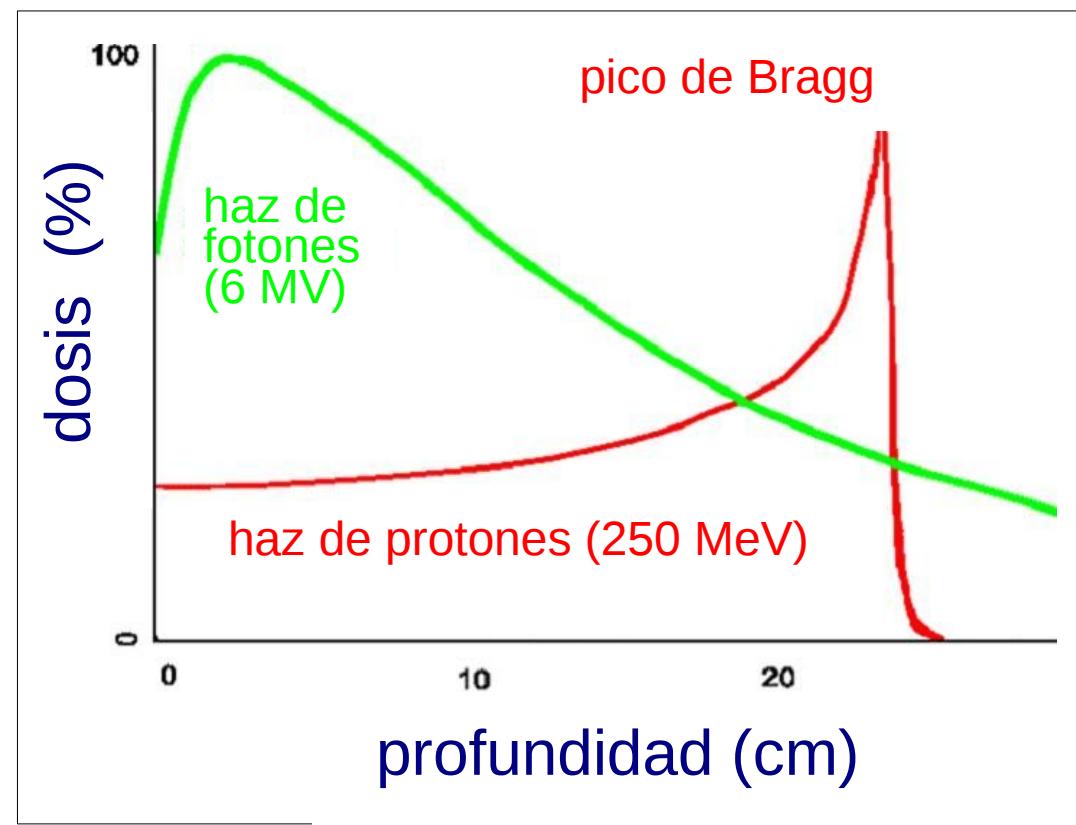
- Partículas cargadas pesadas (protones, iones de carbono) en vez de fotones.
- La profundidad varía con la energía.



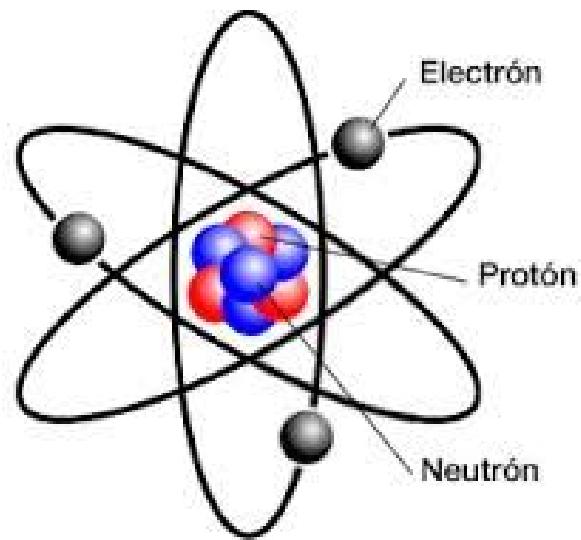
Conventional X-Rays



Ion Radiation



Protones o iones de C, O



- Protones: componentes del núcleo atómico.
- Iones de C, O : átomos a los que les faltan electrones

Producidos en grandes aceleradores en centros especializados.

Terapia hadrónica

- Técnica más compleja. Necesita un centro especial con un acelerador. Más cara, pero más indicada en algunos casos - reduce los efectos secundarios.
- Numerosos centros en todo el mundo.



<http://ptcog.web.psi.ch/ptcentres.htm>

|

Terapia hadrónica

- Técnica más compleja. Necesita un centro especial con un acelerador. Más cara, pero más indicada en algunos casos - reduce los efectos secundarios.
- Numerosos centros en todo el mundo.



<http://ptcog.web.psi.ch/ptcentres.htm>

|

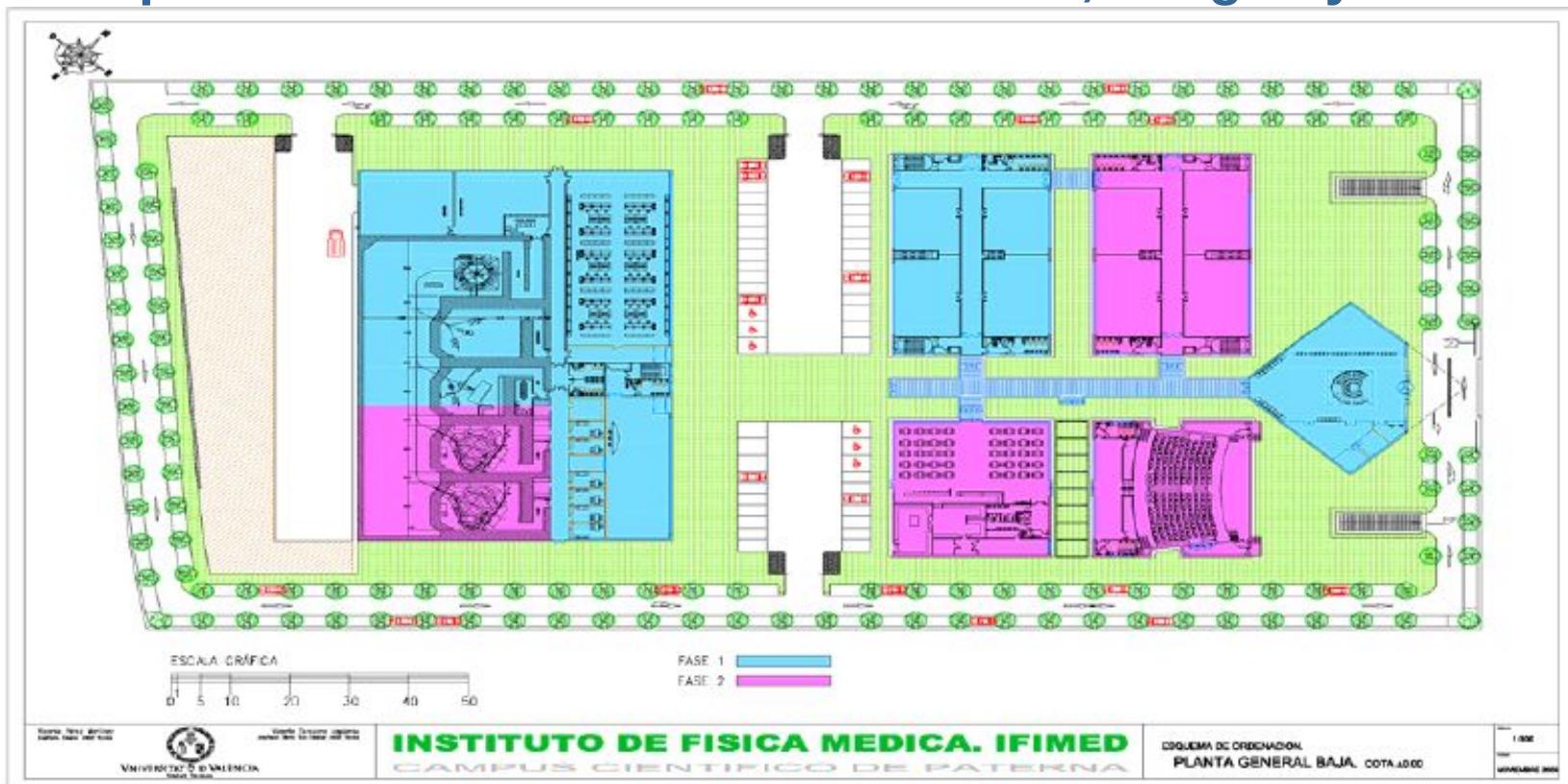
Terapia hadrónica en Valencia

- Instalación de física médica IFIMED en Valencia:
 - Investigación en imagen y terapia hadrónica
 - Tratamiento de pacientes
 - Aplicaciones a otras áreas



<http://ific.uv.es/ifimed/>

Fase 1 completada: laboratorios de detectores, imagen y aceleradores



Laboratorios

- Laboratorio de instrumentación



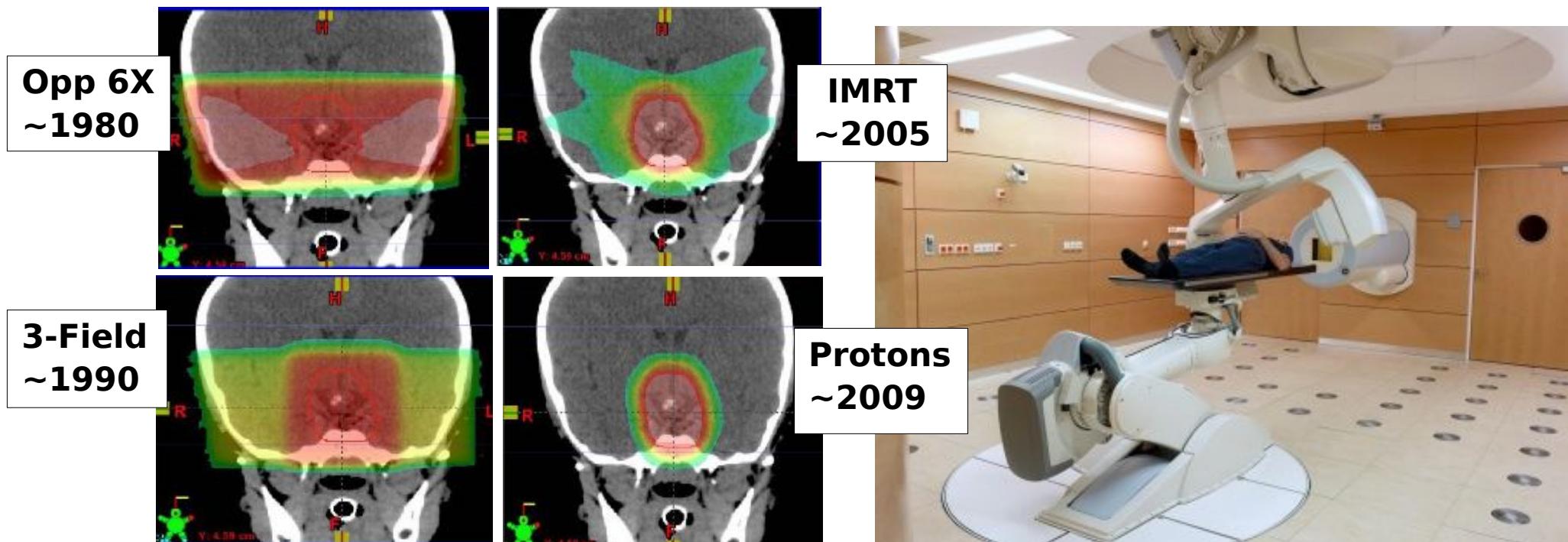
- Sala PET



Super Argus PET/CT

Terapia hadrónica

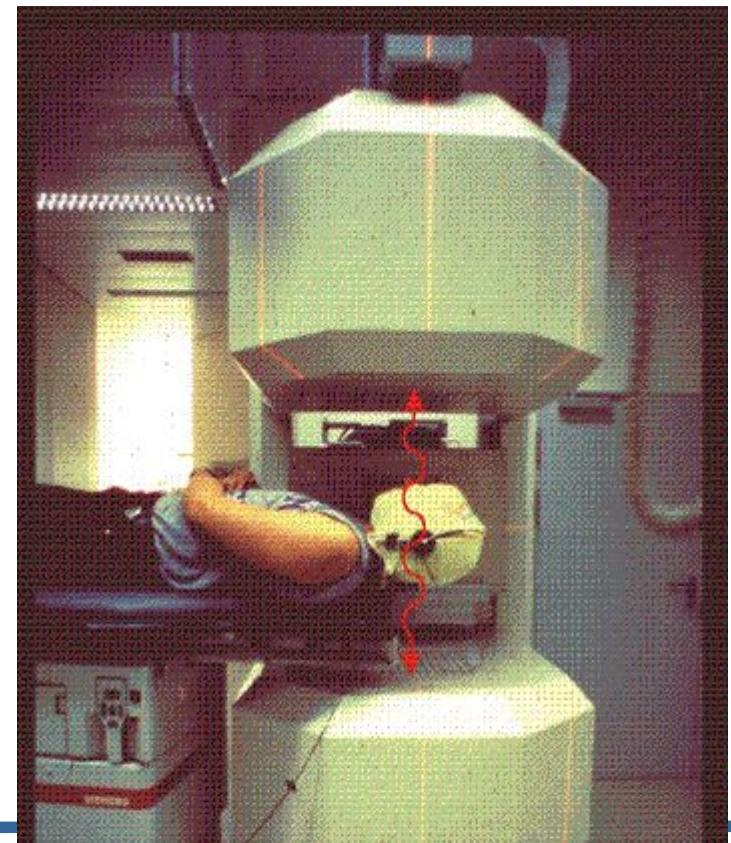
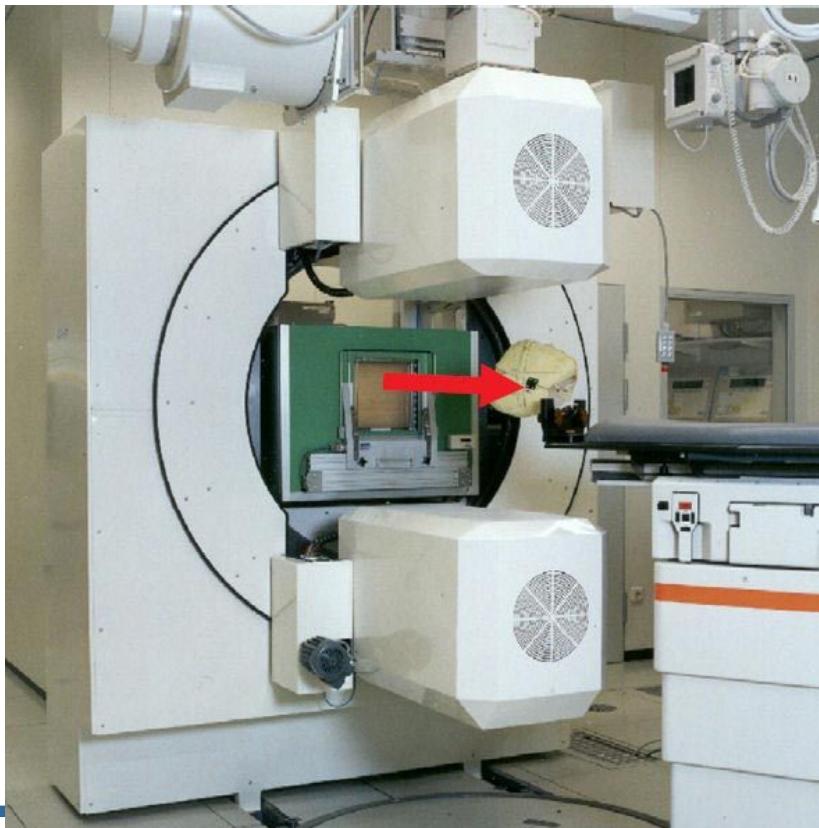
- Ventaja: la dosis de radiación se administra de forma más precisa, y se reduce la dosis en el tejido sano.



- Muy ventajosa en algunos tipos de tumores (ojo, próstata, cerebro, niños...)
- En otros casos no demostrado. **DECIDE EL MÉDICO**

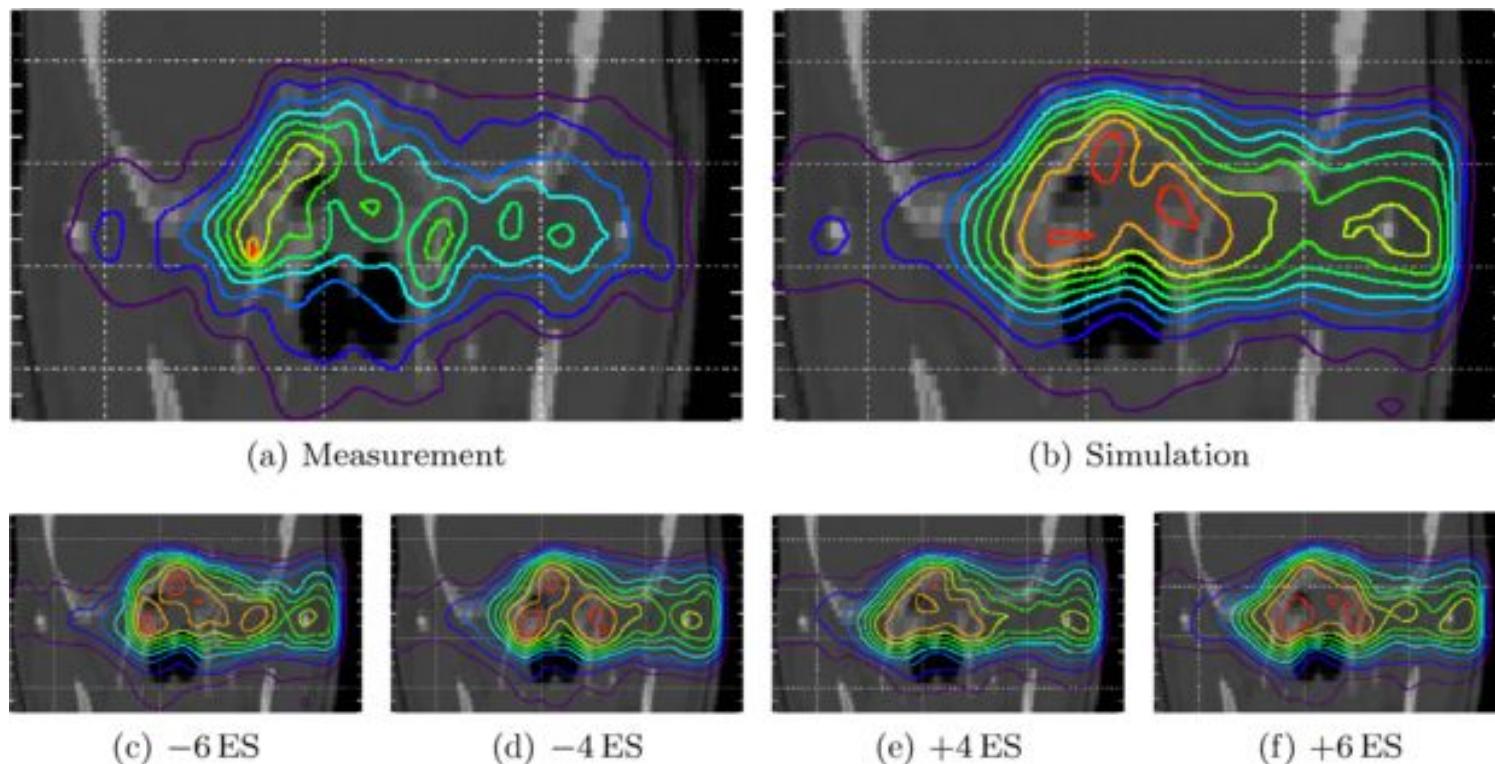
Monitorización de la terapia hadrónica

- Al no atravesar el cuerpo la radiación, no se puede utilizar un dosímetro.
- Otras técnicas necesarias para monitorización.
- En la actualidad se utiliza el PET.



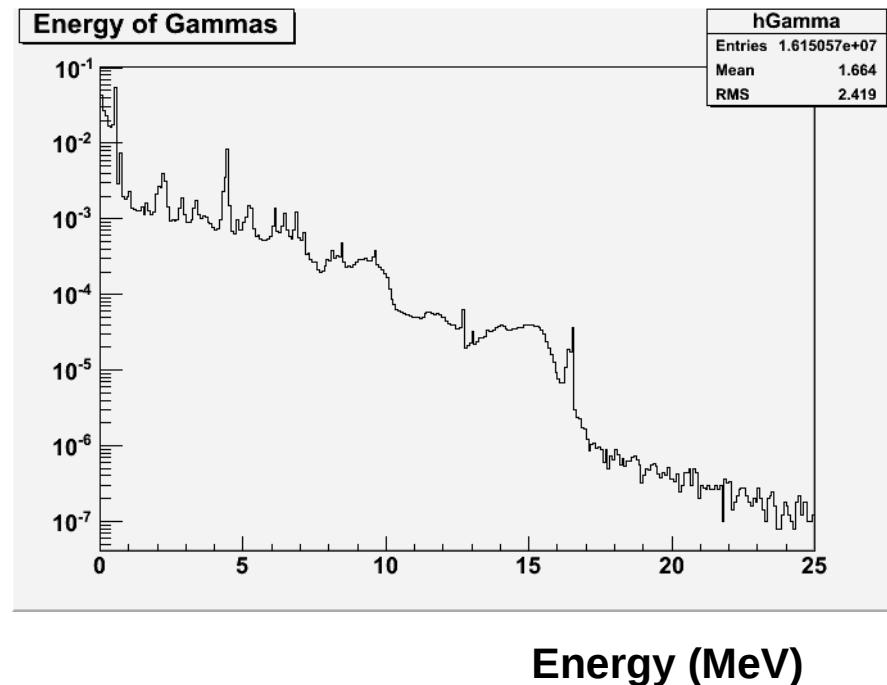
Monitorización con PET

- No se inyecta un radiofármaco, se usan los positrones creados en el tejido al ser irradiado.
- Se hace una planificación de la terapia, y una simulación, y se comparan los resultados.



Alternativas

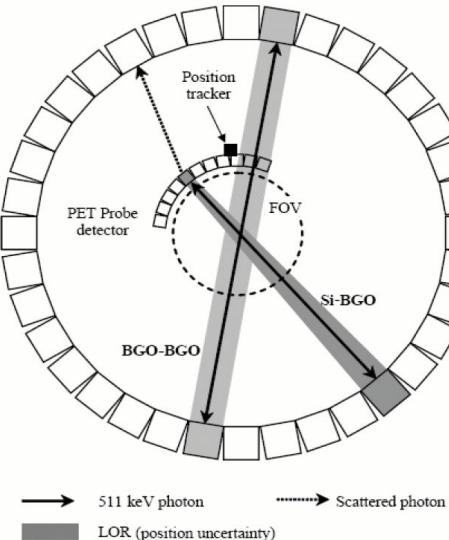
- Al irradiar el tejido también se producen otras partículas.
- Entre ellas, fotones de alta energía.
- Se producen inmediatamente después de irradiar el tejido, por lo que se podría monitorizar la terapia mientras se está irradiando al paciente.
- Se estudia el mejor modo de detectarlos=> campo de investigación activo.



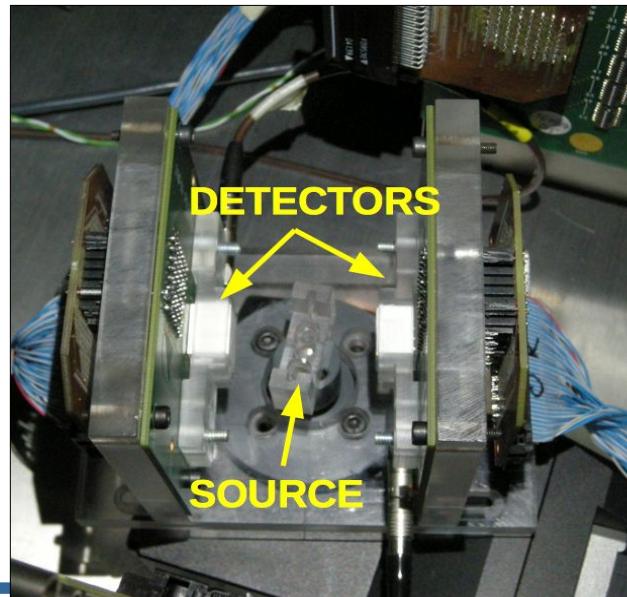
Grupo IRIS: Image Reconstruction, Instrumentation and Simulations for medical applications. <http://ific.uv.es/iris>

- Investigamos para avanzar el estado del arte: nuevos detectores, nuevas técnicas, nuevos algoritmos.
- Conexión con la física de Altas Energías para aprovechar los avances.
- Proyectos y colaboraciones internacionales.

Sondas PET y Compton



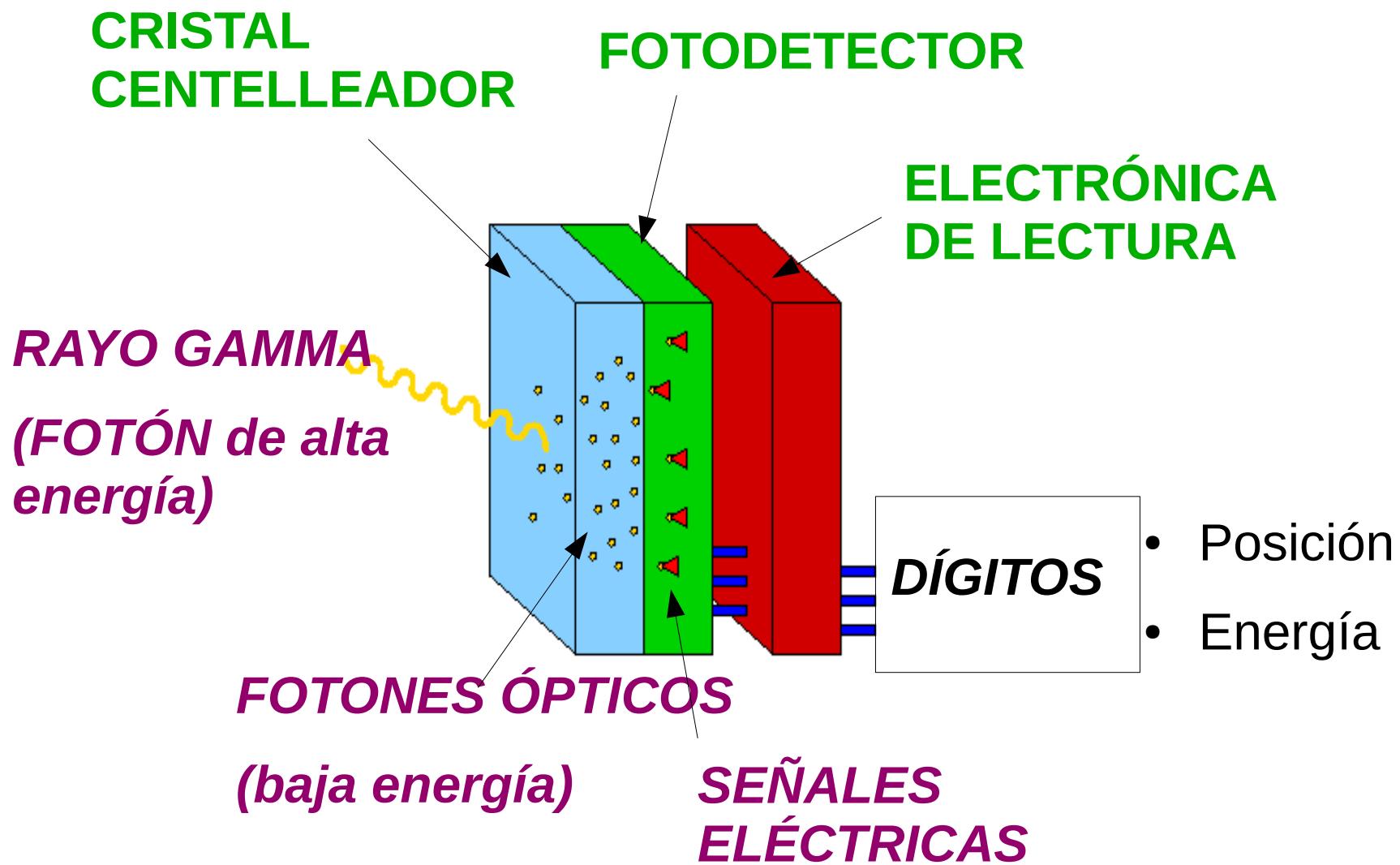
PET de alta resolución y eficiencia



Dispositivo para monitorización de la terapia hadrónica

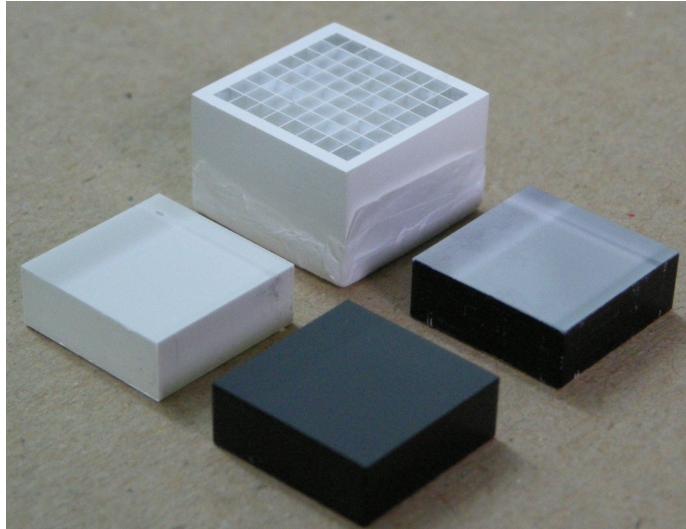
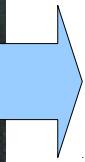
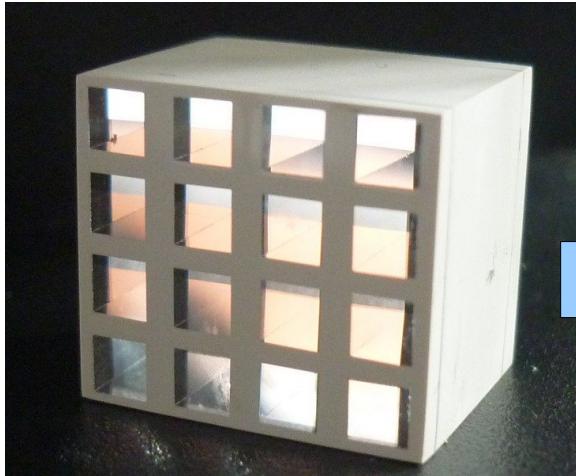


Detectores



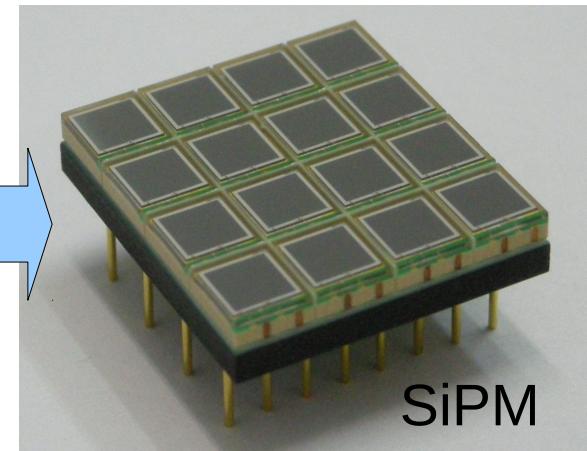
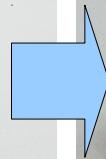
Detectores

Mejora de cristales, fotodetectores y electrónica



CRISTALES CENTELLEADORES

FOTODETECTORES



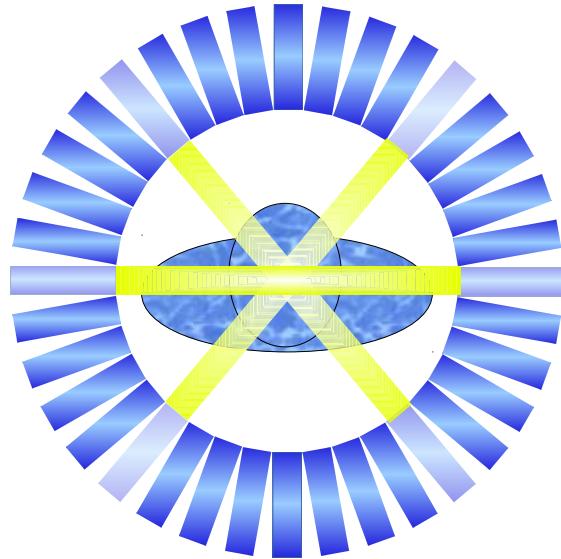
PMT

SiPM



ELECTRÓNICA DE LECTURA

Reconstrucción de imágenes



Adquisición de datos

$$n_j^{k+1} = \frac{n_j^k}{\sum_{i=1}^I a_{ij}} \sum_{i=1}^I a_{ij} \frac{m_i}{q_i^k}$$



Reconstrucción de la imagen

Imagen médica

Mejorar la calidad de la imagen final

Instrumentation

- Aplicación de *nuevos detectores*: (d)SiPMs, etc.
- Prototipos Proof of concept
 - Compton Camera
 - PET

Image Science

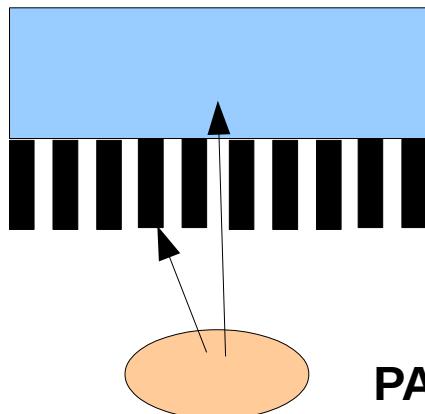
- Modelar la física
- Software de reconstrucción dedicado para prototipos.
- Optimizar la reconstrucción

Image

- Imagen: último paso.
- Objetivo: calidad
 - resolución
 - fidelidad
 - etc..
- Poco procesado de imagen

Silicio: Cámaras Compton

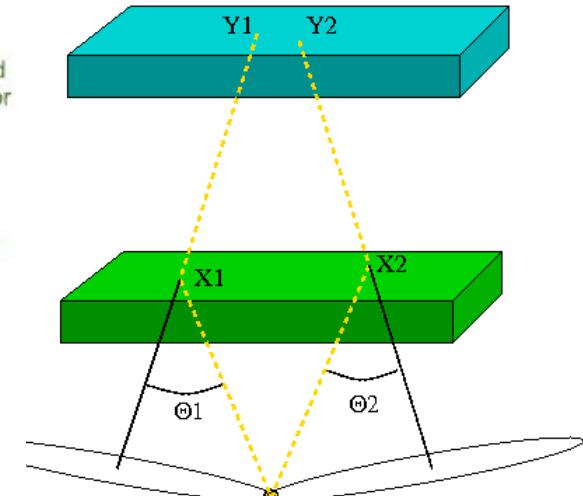
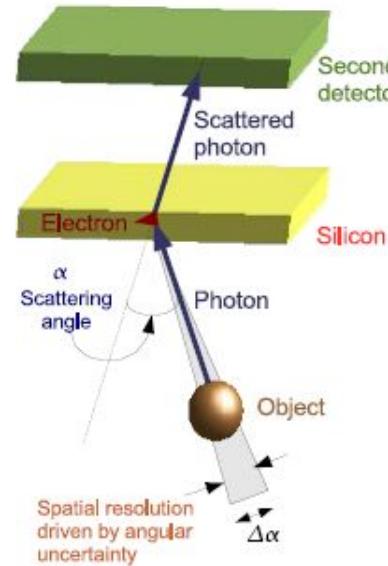
CÁMARA GAMMA



DETECTOR
COLIMADOR

PACIENTE

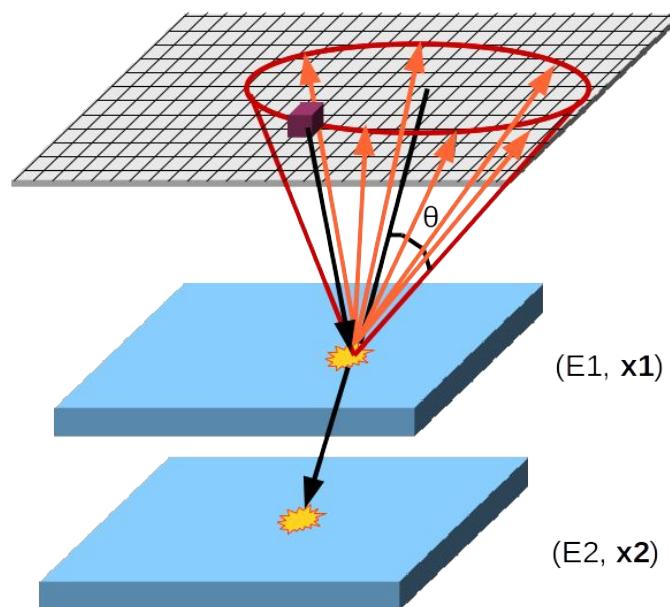
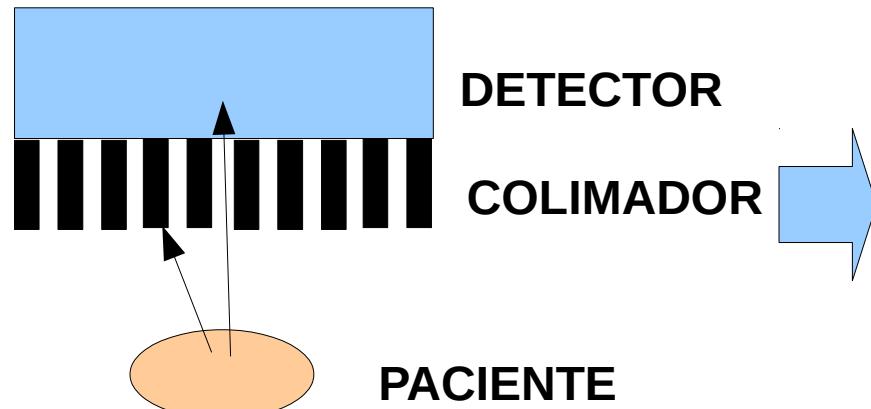
CÁMARA COMPTON



$$\cos\theta = 1 - m_0 c^2 \left(\frac{1}{E_0 - E_e} - \frac{1}{E_0} \right)$$

Silicio: Cámaras Compton

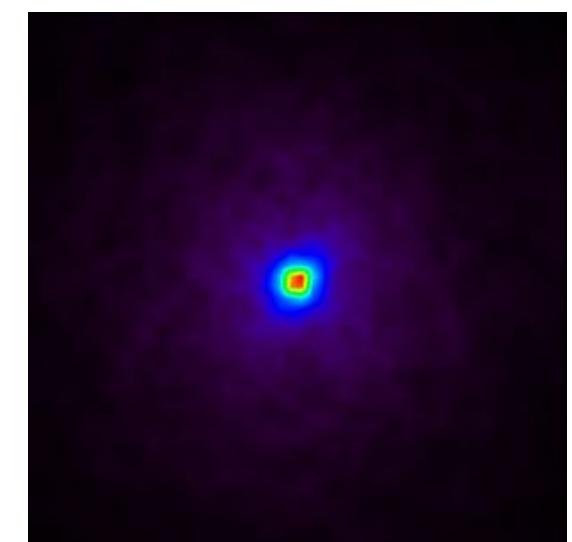
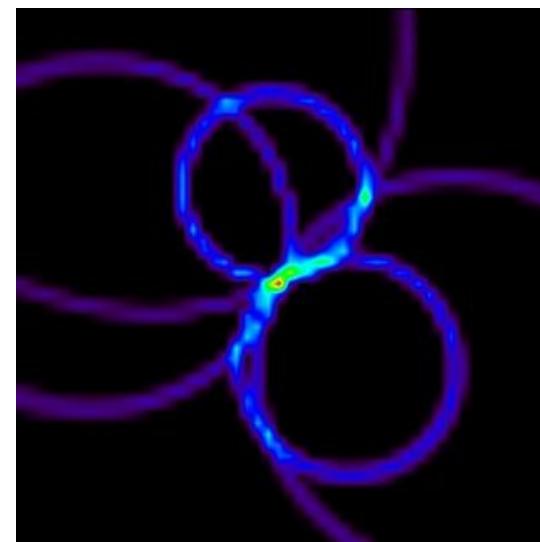
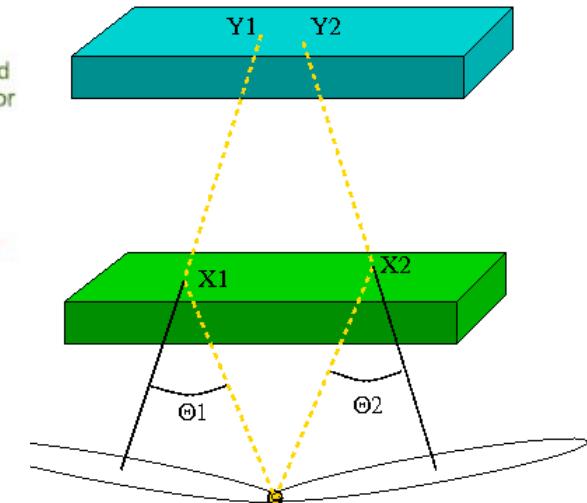
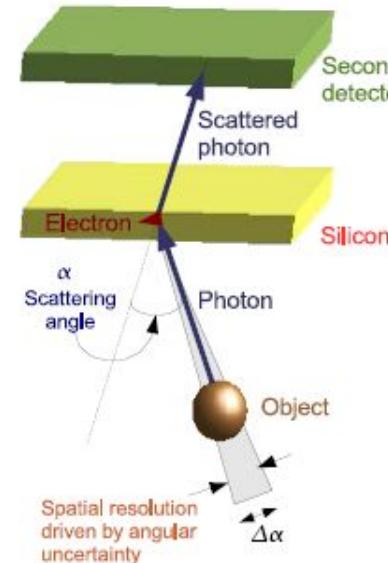
CÁMARA GAMMA



DETECTOR
COLIMADOR

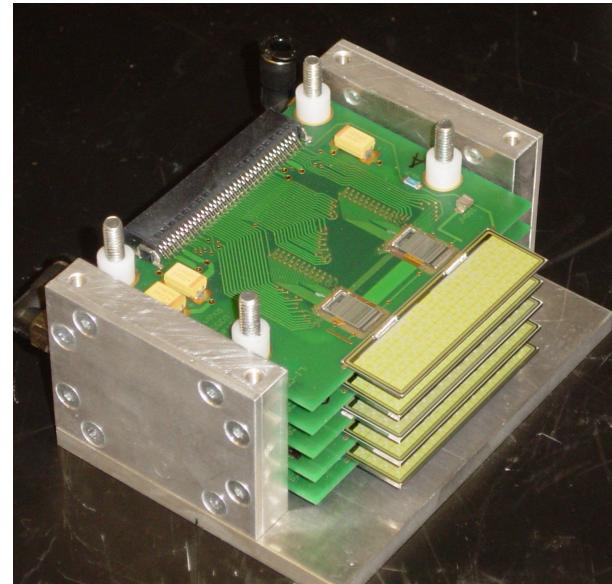
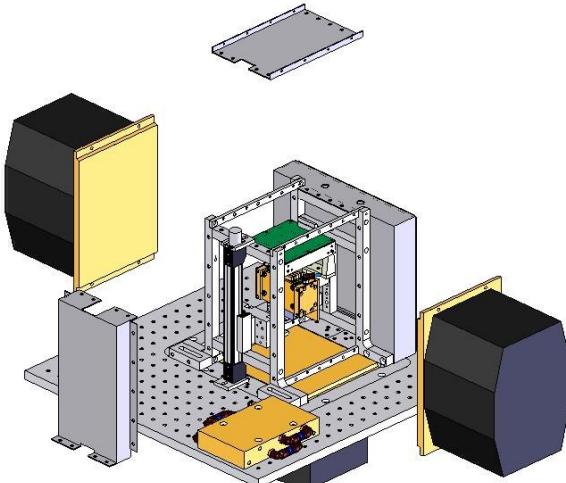
PACIENTE

CÁMARA COMPTON

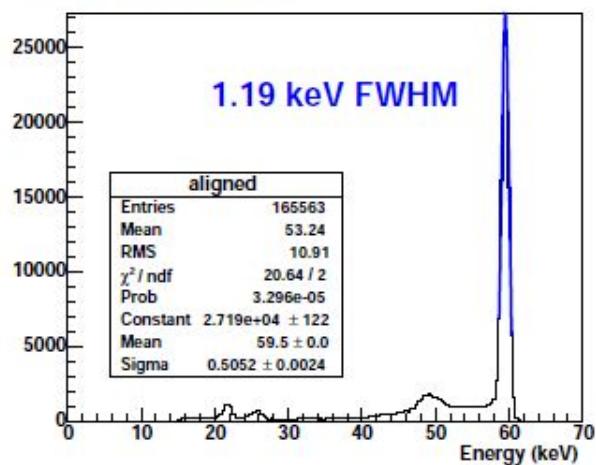


Silicio: Cámaras Compton

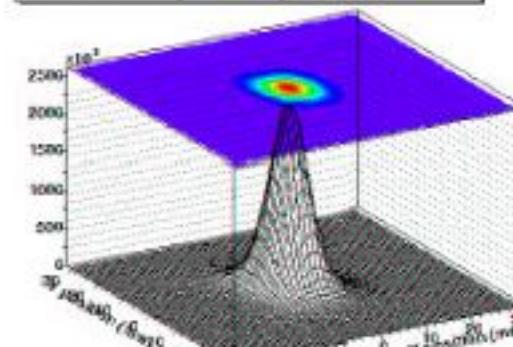
- Aplicación: sonda Compton para imágenes de la próstata



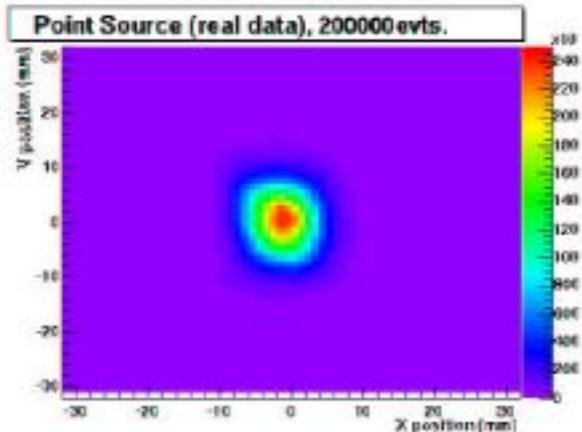
aligned mod 0 channels 0 - 256



Point Source (real data), 200000evts.

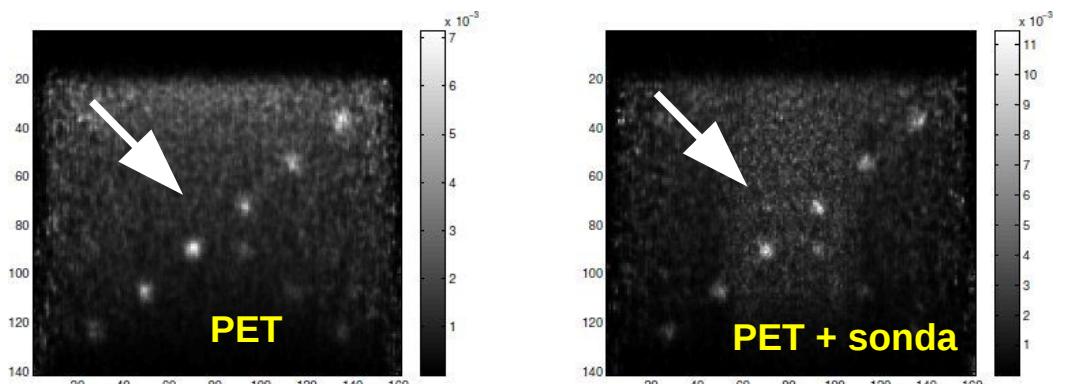
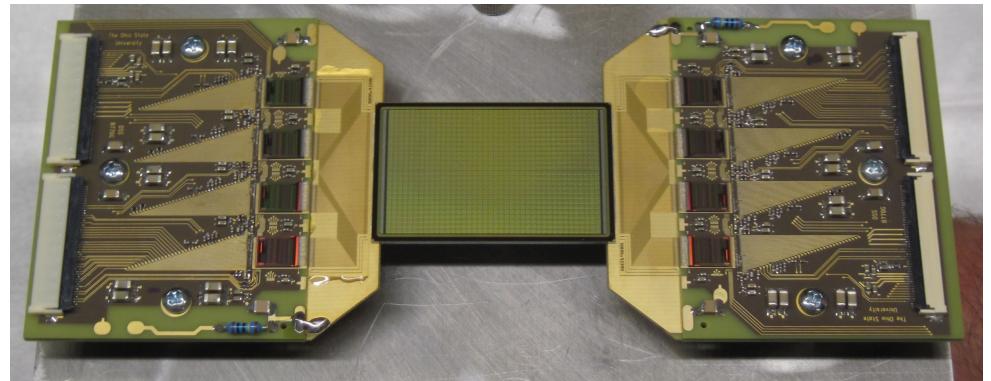
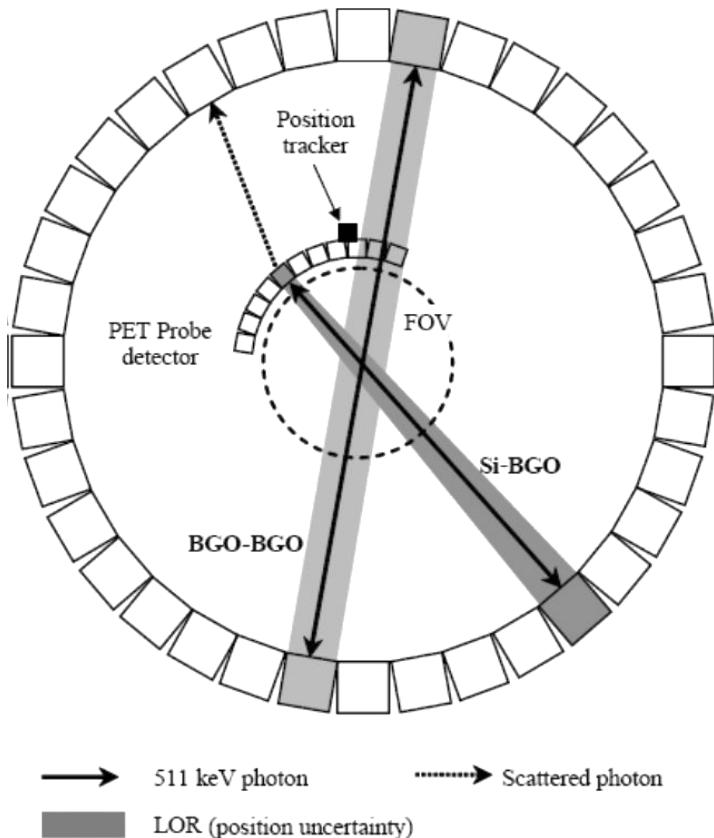


Point Source (real data), 200000evts.



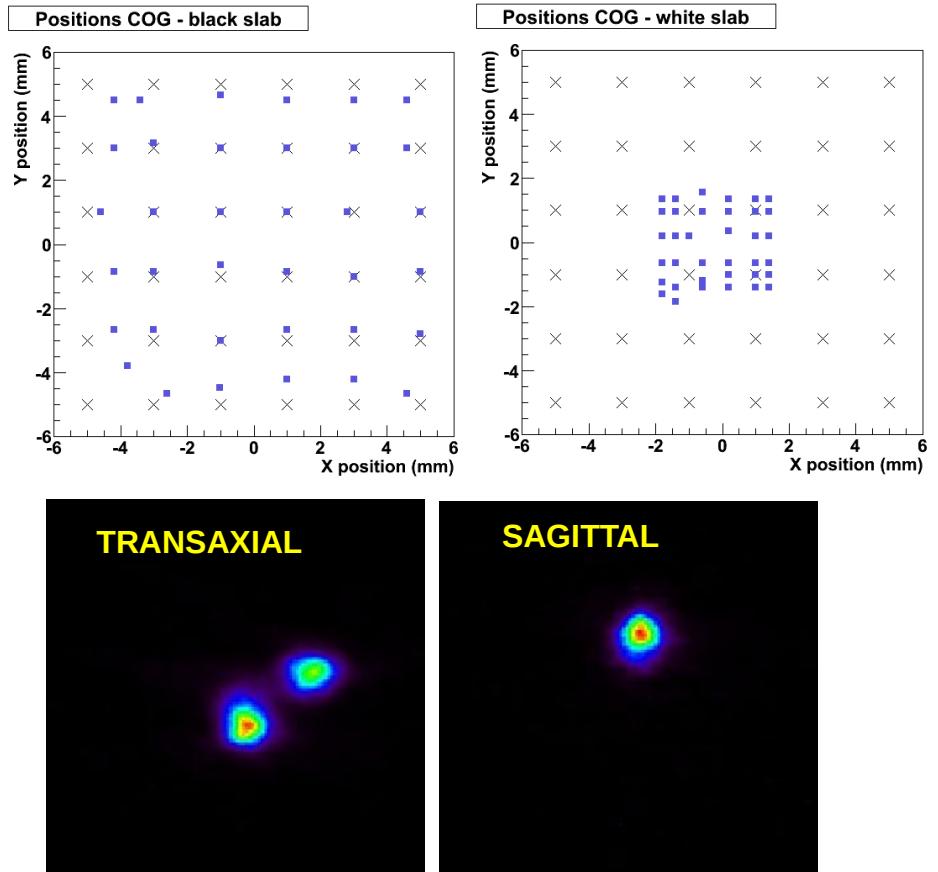
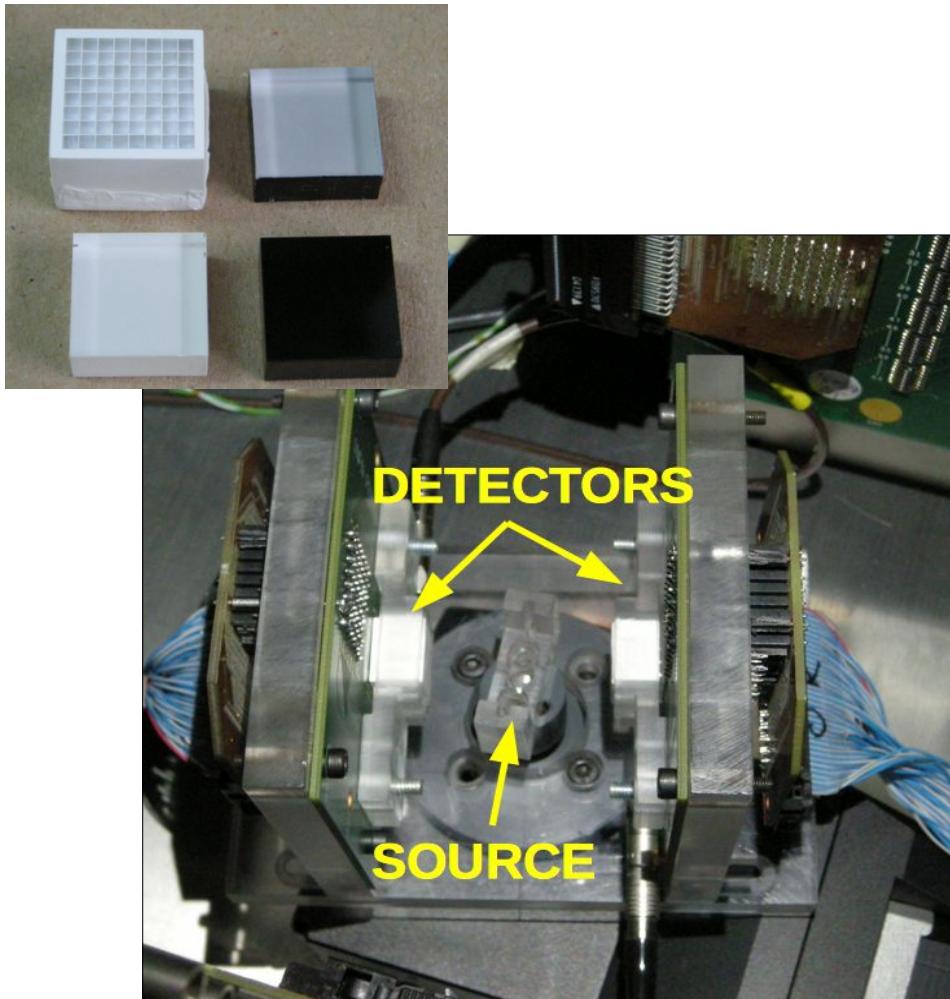
Silicio: MADEIRA

- 'Lupa' para mejorar la resolución en una zona



PET con cristales continuos

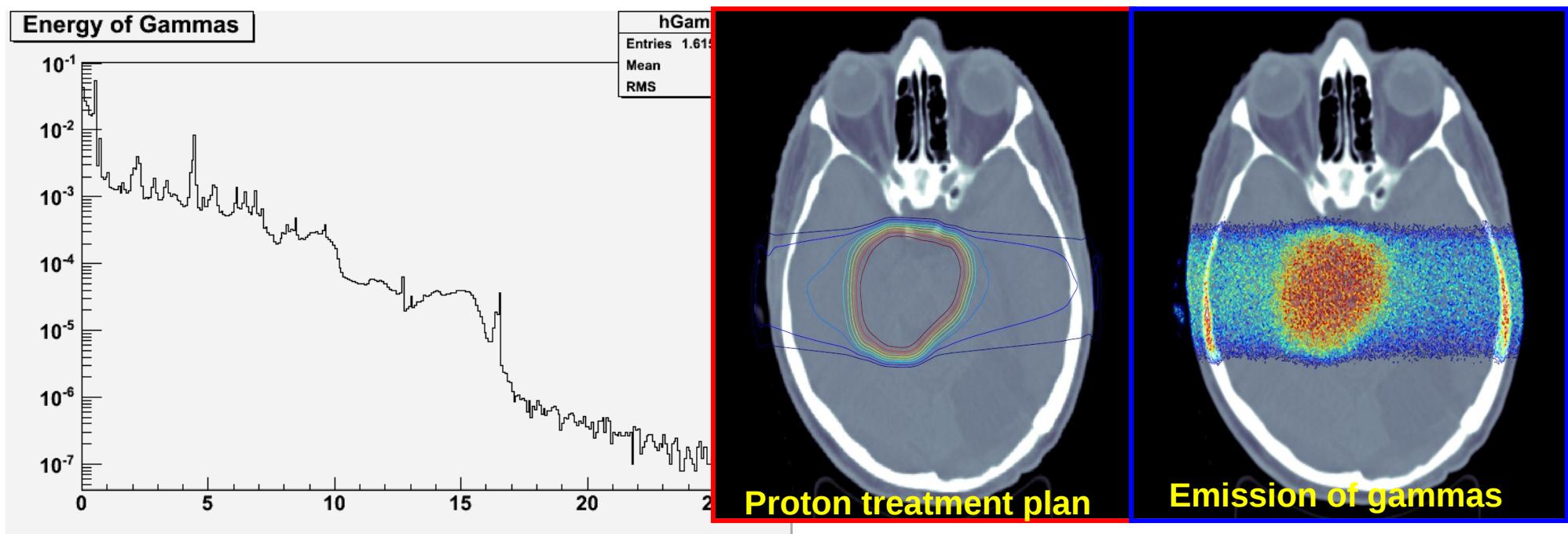
- Aumento de eficiencia y resolución a bajo coste.
- Pioneros en el uso de SiPMs.



Fuentes puntuales:
FWHM mejor que 1 mm.

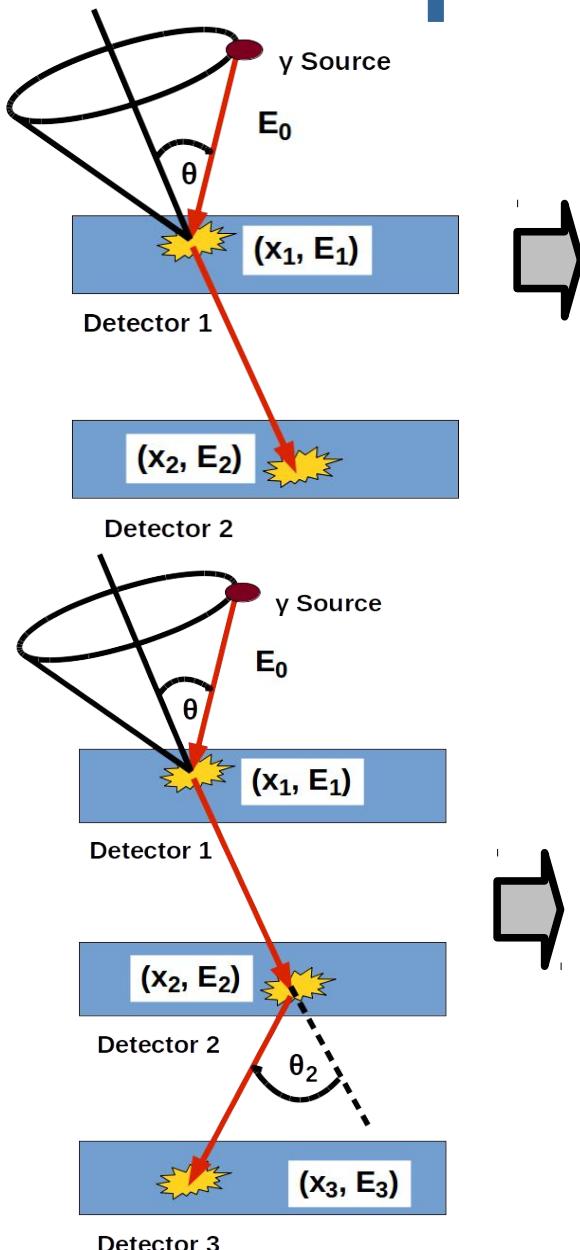
Telescopio Compton

- Alternativa: gammas emitidos por los nucleos del tejido excitados durante la terapia.
 - Emisión ~ ns tras irradiación
 - ~ 7 veces más partículas/cGy.
- Espectro continuo de energía hasta 10-20 MeV.



Brain tumor. CMS TPS (Elekta)
AKH and Med. Univ. Vienna.

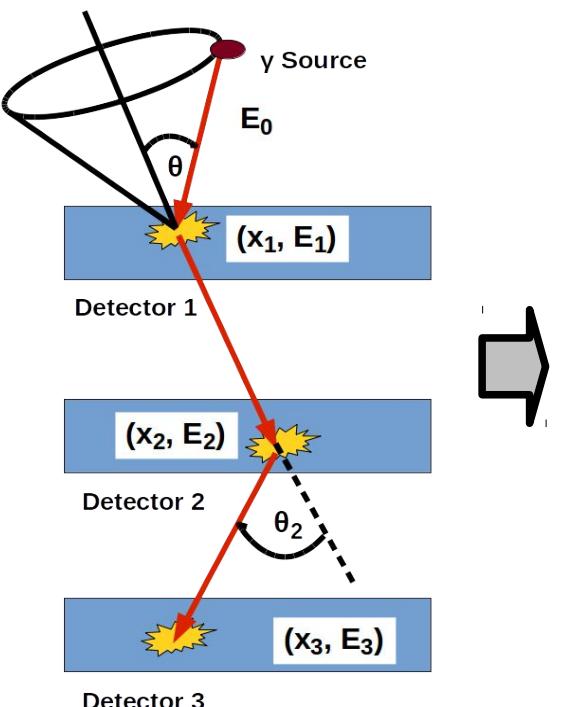
Telescopio Compton



Dos detectores:

Problemas si no sabemos la E del fotón, o si no se absorbe (MeV)

$$\cos\theta = 1 - m_0 c^2 \left(\frac{1}{E_0 - E_e} - \frac{1}{E_0} \right)$$



Multicapa: 3 interacciones en 3 detectores (+ orden correcto):

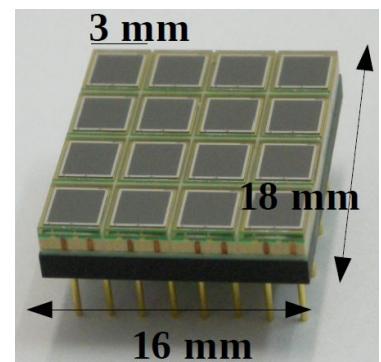
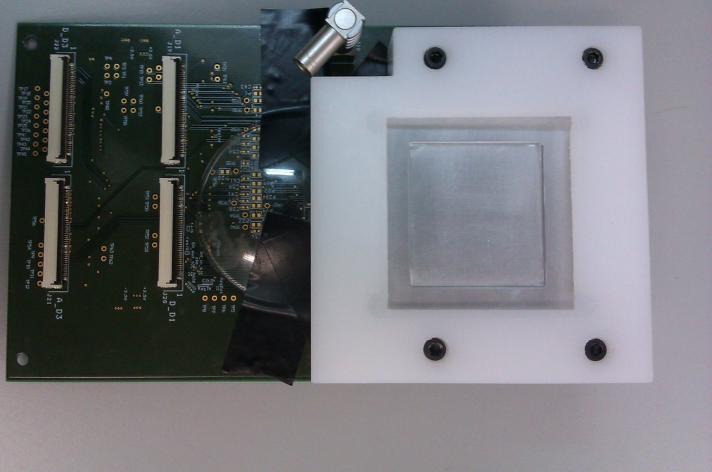
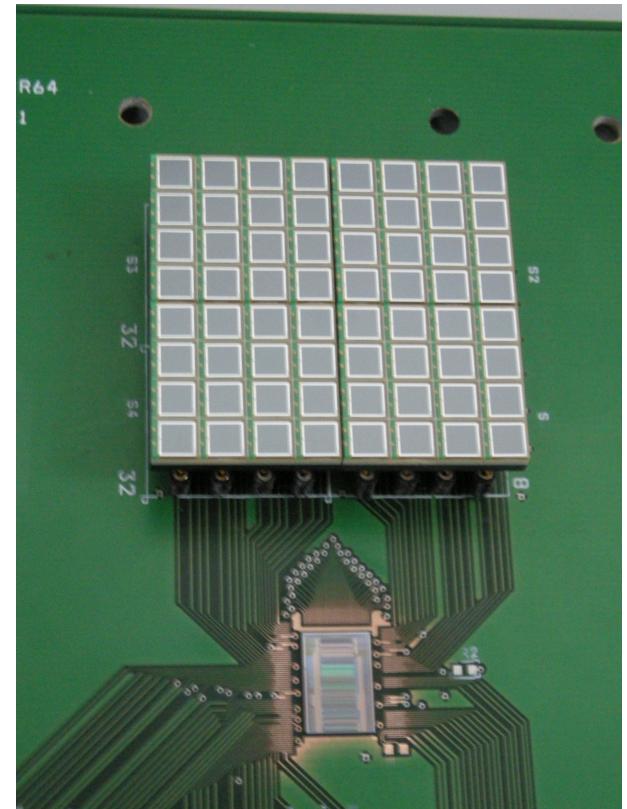
- Energía determinada
- Eficiencia menor

$$\cos(\theta) = 1 - \frac{E_1 m_e c^2}{E_0 (E_0 - E_1)}$$

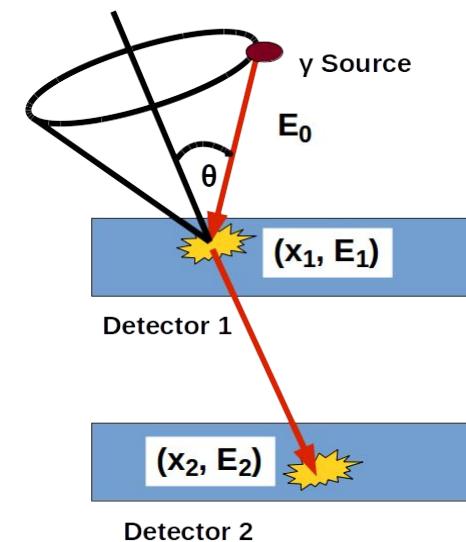
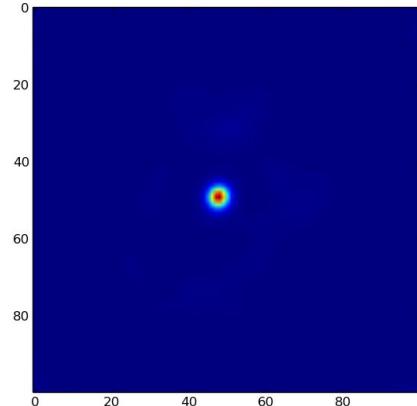
$$E_0 = E_1 + \frac{1}{2} \left(E_2 + \sqrt{E_2^2 + 4 \frac{E_2 m_e c^2}{1 - \cos \theta_2}} \right)$$

QUEREMOS COMBINAR LOS DOS TIPOS DE EVENTOS

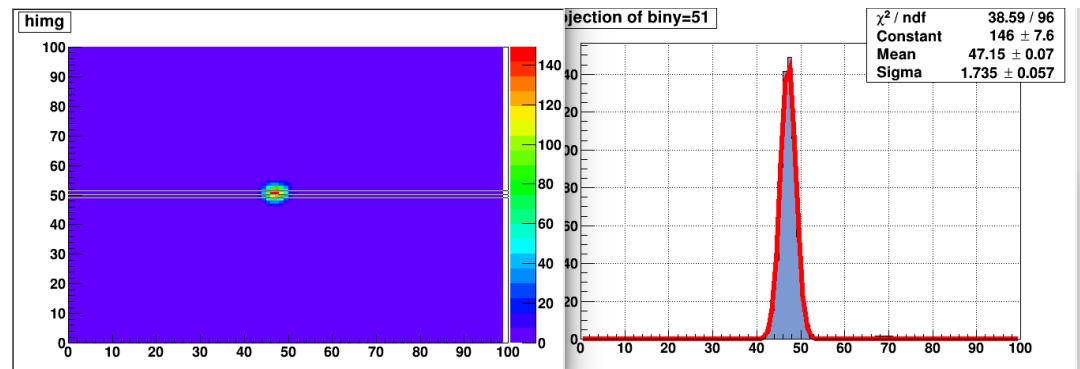
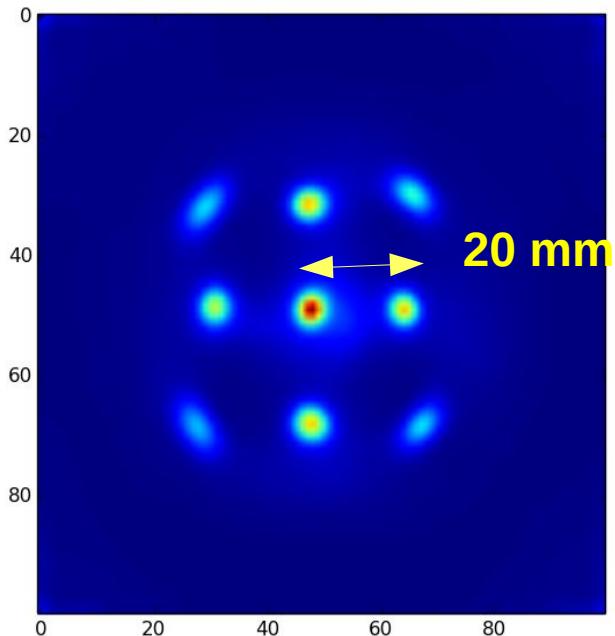
Telescopio Compton



Telescopio Compton



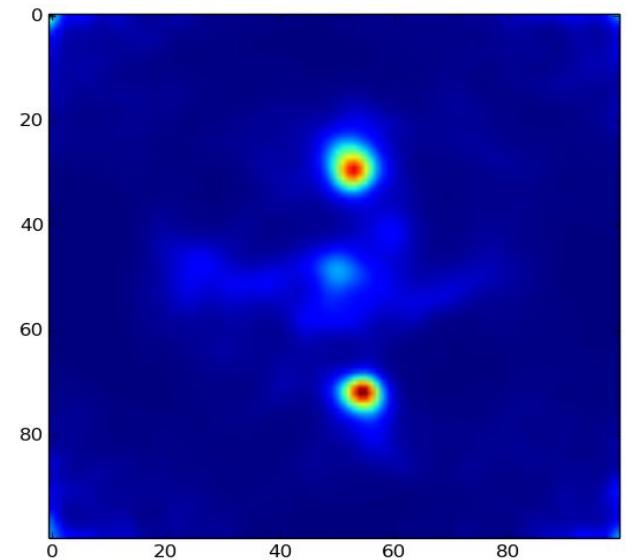
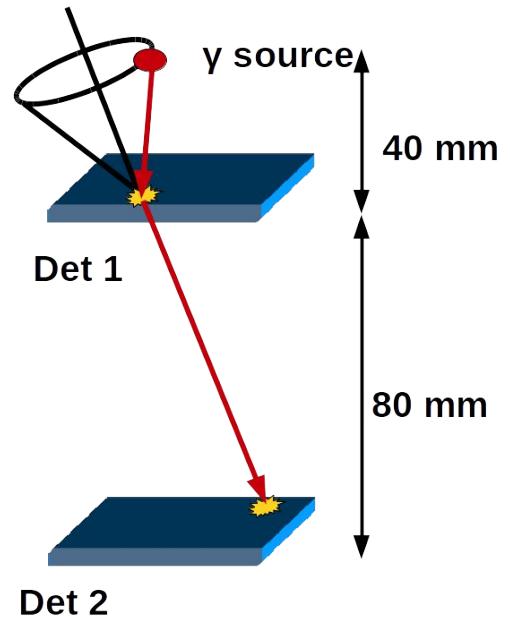
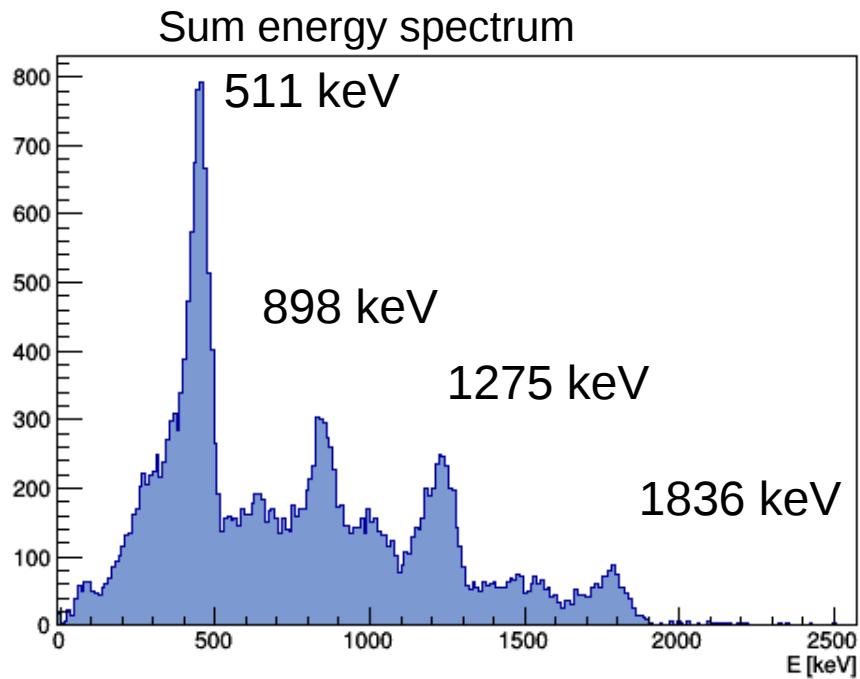
Ajuste gausiano al perfil máximo



Resolución espacial (FWHM):

- 4 mm con Na-22 en el pico de 1273 keV
- 3.1 mm with Y-88 en el pico de 1836 keV

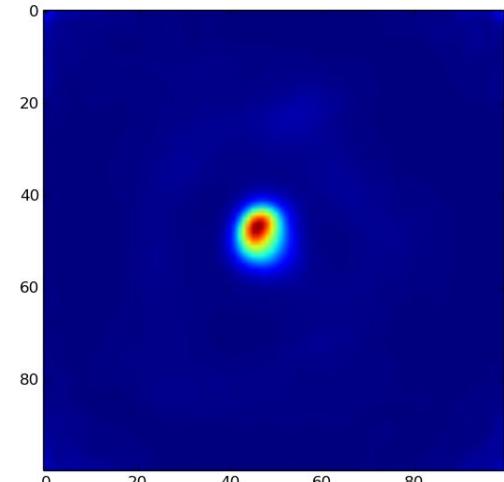
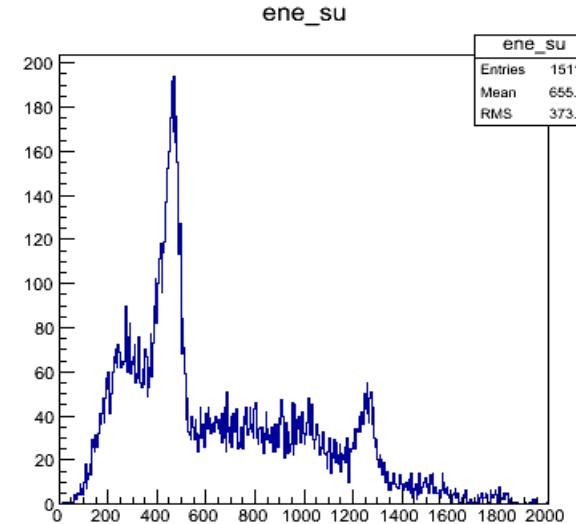
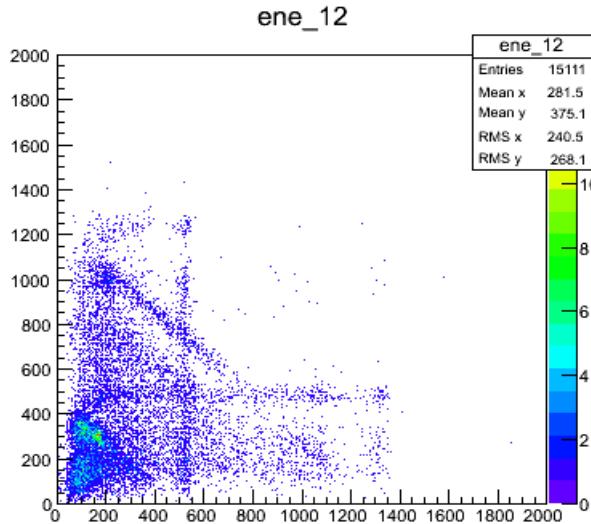
Telescopio Compton



- Corte E: $950\text{kev} < \text{Esum} < 1950 \text{ keV}$
- Fuentes separadas 40 mm.
- Imágenes reconstruidas simultáneamente.

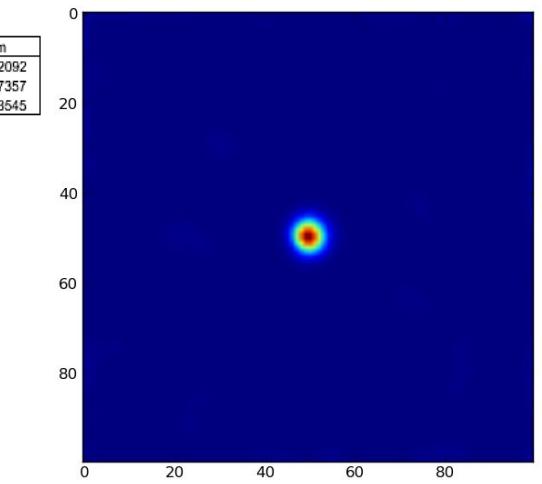
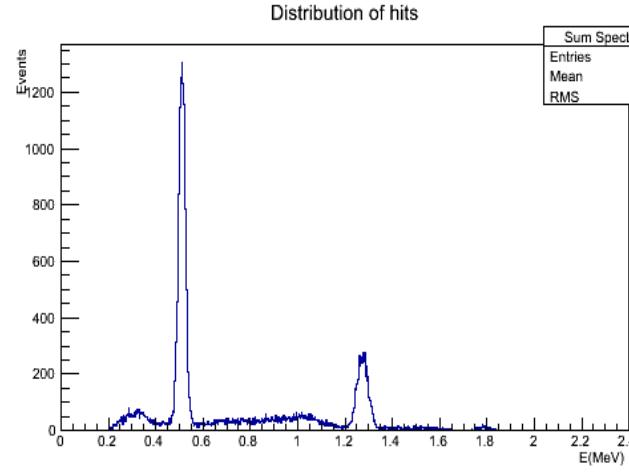
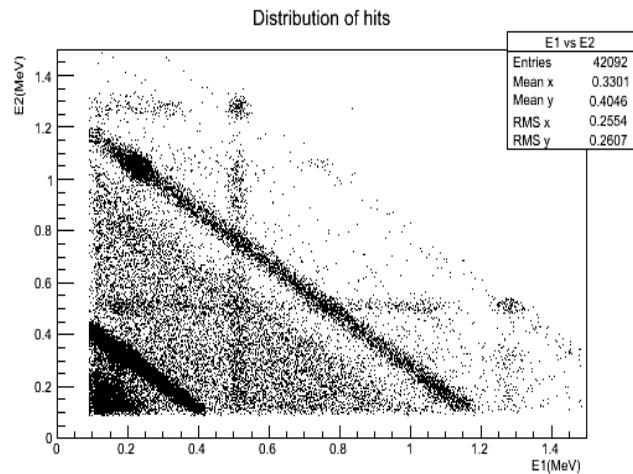
Comparación con simulaciones

DATOS EXPERIMENTALES:



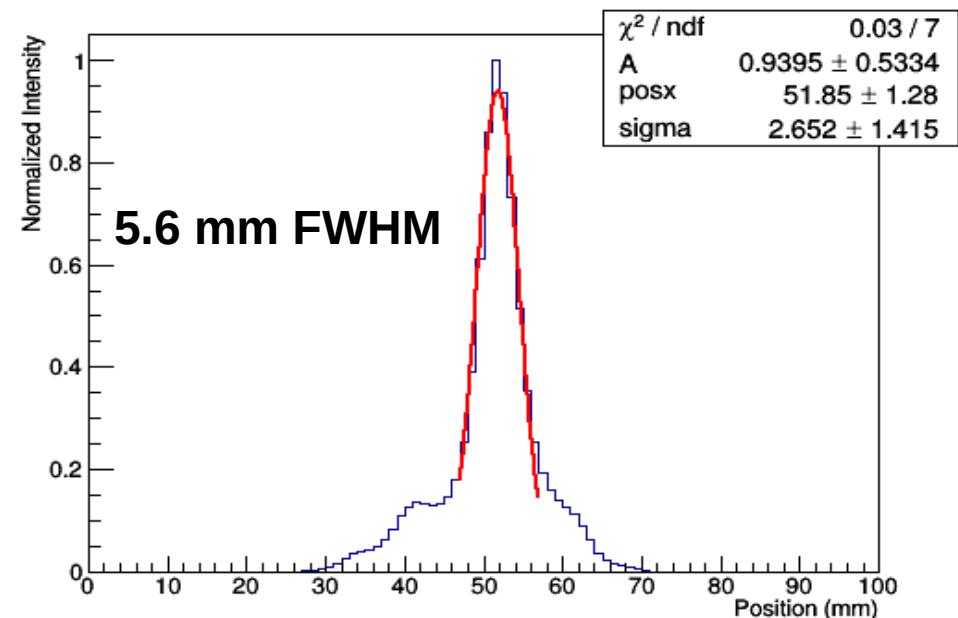
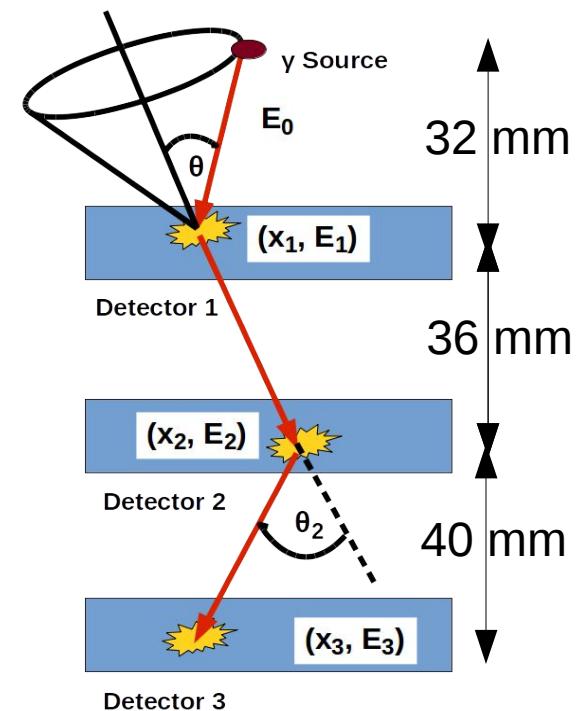
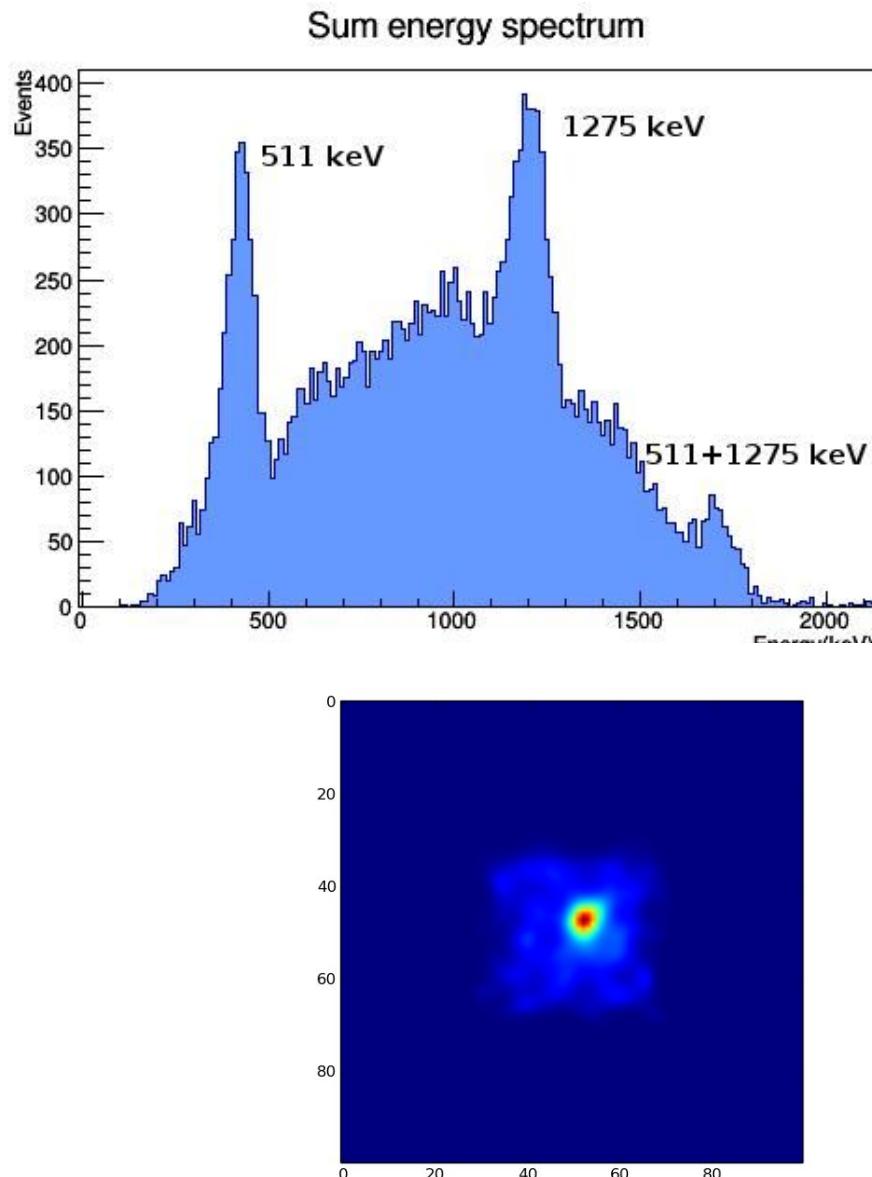
Sum energy spectrum

SIMULACIONES CON GATE:

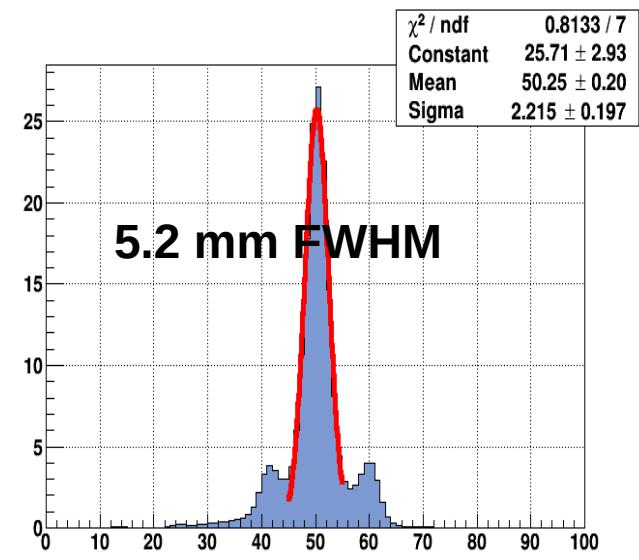
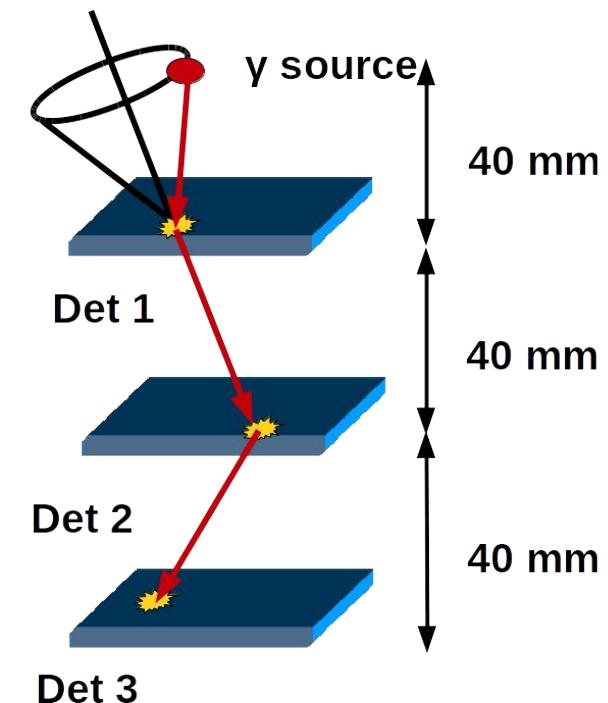
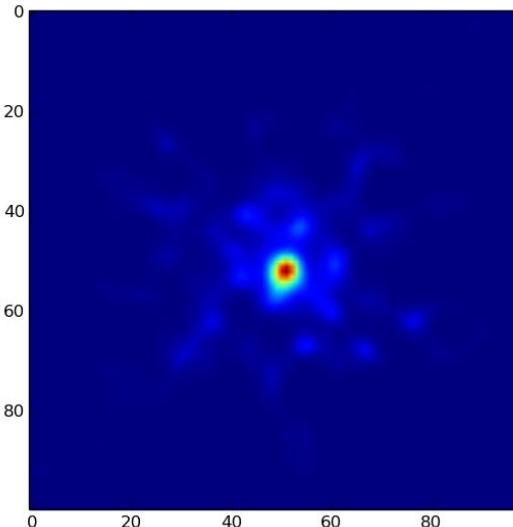
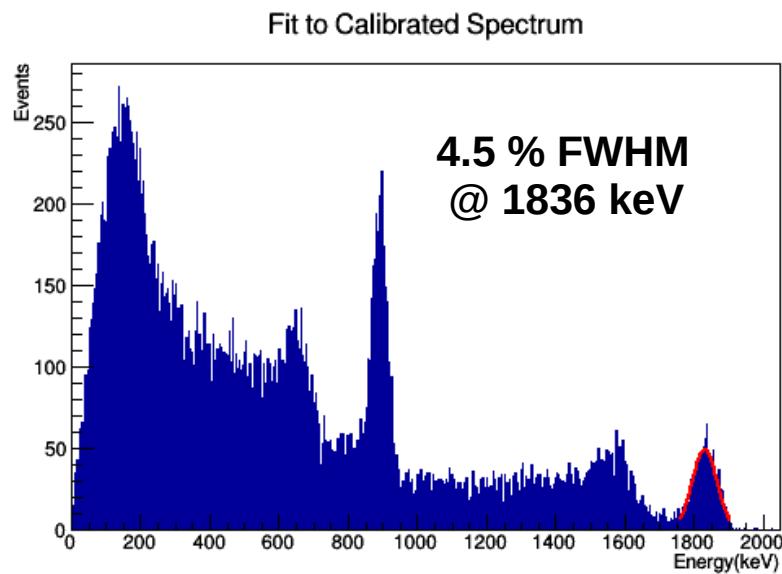
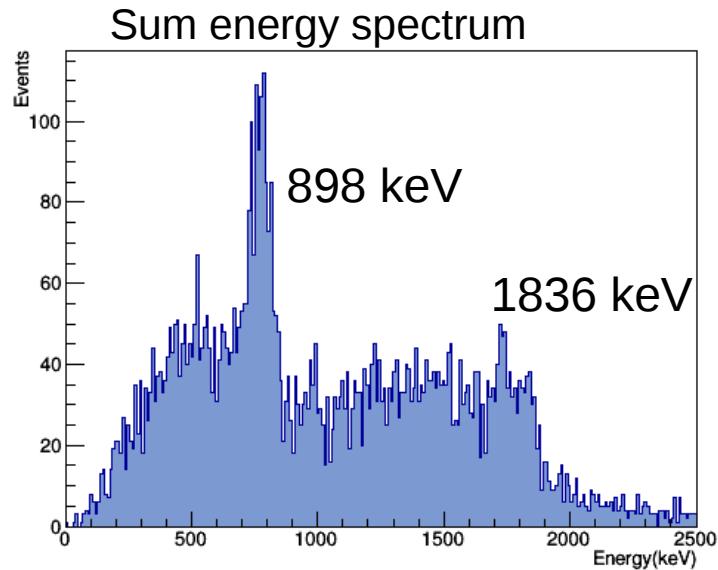


Telescopio Compton

- Na-22: $650 \text{ keV} < E_{\text{sum}} < 1350 \text{ keV}$

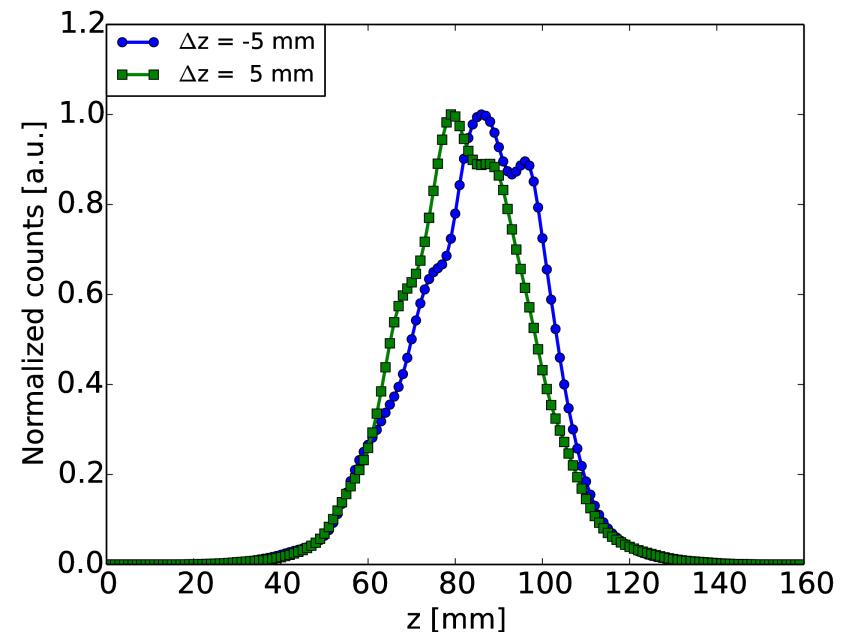
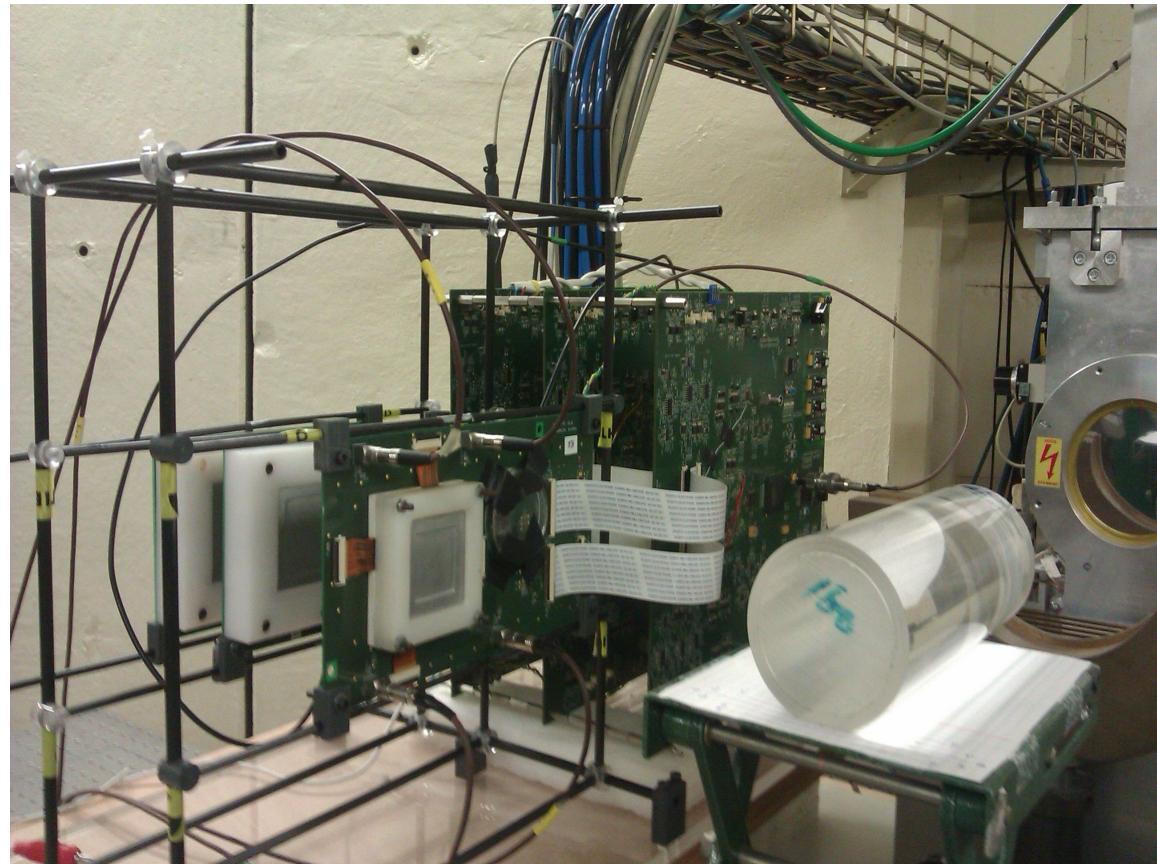


Telescopio Compton



Pruebas en haz

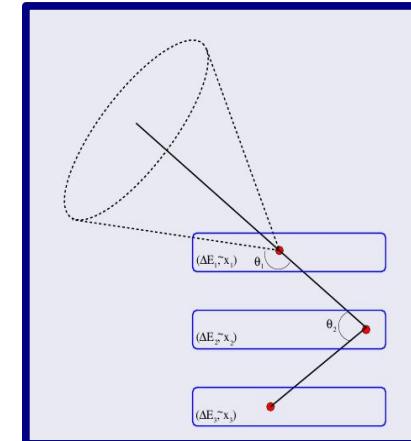
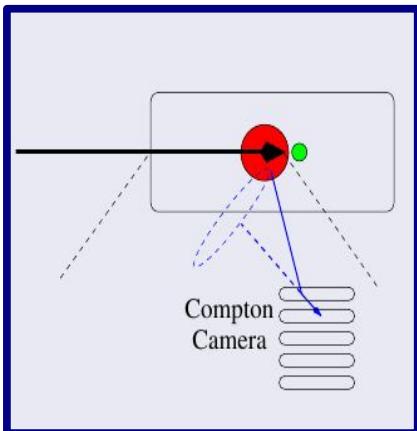
- Haz de protones



Reconstrucción de imágenes

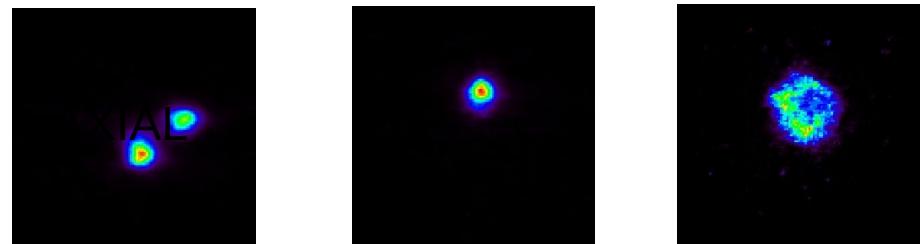
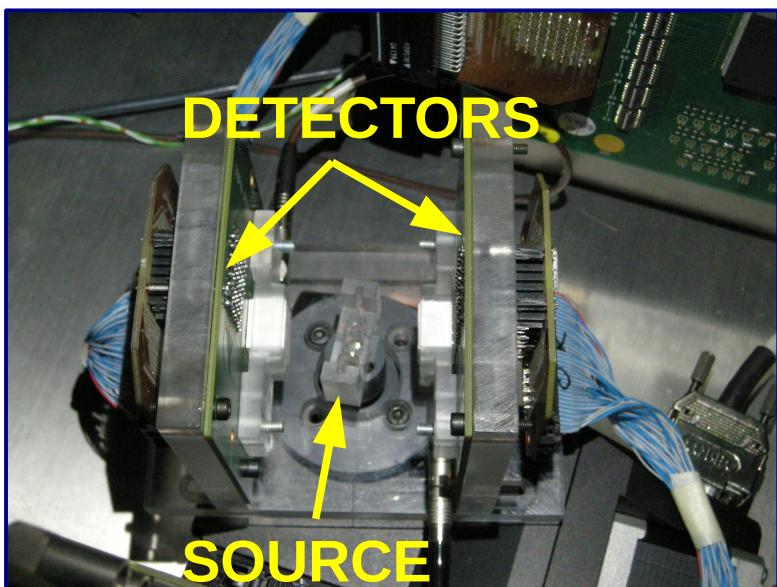
Compton telescope (Home made)

- Novelty: Monitor the dose in proton therapy by using Compton cameras



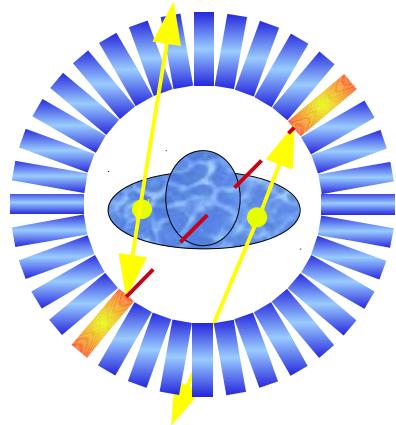
PETITE (Home made)

- Novelty: Combine monolithic scintillator crystals with Silicon Photomultipliers
 - Still in its developing stages
 - Preliminary, better space resolution
 - Enhanced sensitivity
 - Submillimeter resolution



Reconstrucción de imágenes

Coincidencias accidentales



Two uncorrelated photons are detected in coincidence

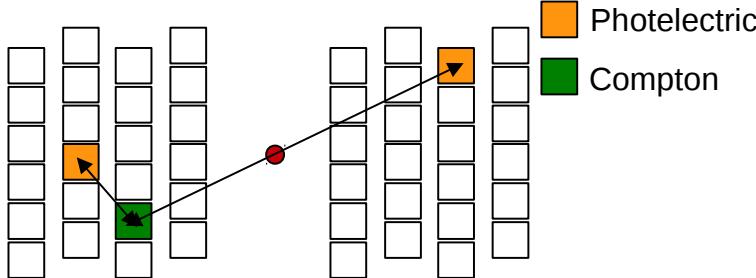
- Lines of response are incorrect
 - Enhance noise
 - Reduce contrast
 - Hamper quantification

SP

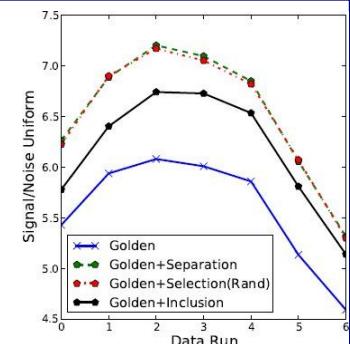
$$R_{ij} = \frac{2\tau e^{-\lambda-S}}{(1-2\lambda)^2} (S_i - e^{\lambda+S} P_i)(S_j - e^{\lambda+S} P_j)$$

$$2\lambda^2 - \lambda + S - Pe^{\lambda+S} = 0$$

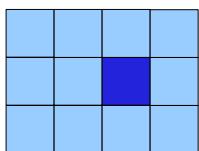
Interacción en cristales



- The same photon is detected twice
- Two potential Lines of Response
- Usually ignored
- They convey useful information
 - 20% of ICS improves 10% SNR
 - Without hampering resolution

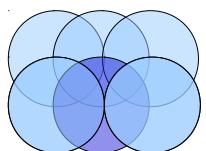


Funciones base



Pixels:

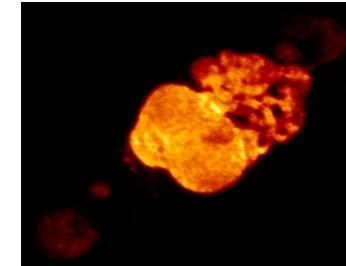
$$\text{rect}(t) = \Pi(t) = \begin{cases} 0 & \text{if } |t| > \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \text{if } |t| = \frac{1}{2} \\ 1 & \text{if } |t| < \frac{1}{2}. \end{cases}$$



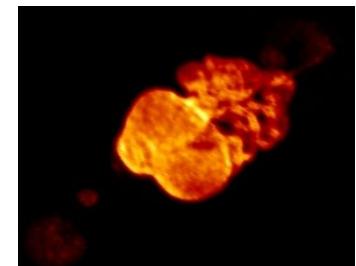
Blobs:

$$\Psi_{m,a,\alpha}(r) = \frac{1}{I_m(\alpha)} (\sqrt{(1-(r/a)^2)})^m I_m(\alpha \sqrt{(1-(r/a)^2)})$$

Pixels:



Blobs:



Reconstrucción de imágenes

Velocidad

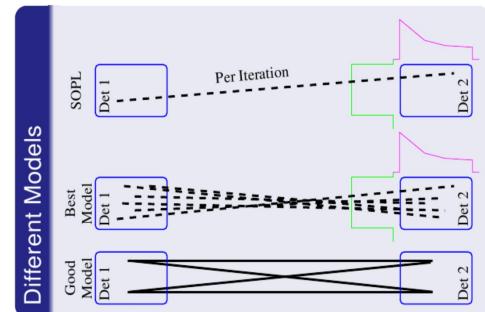
Lossless

- Obtaining the image may require many time. From hours to days.
- Goal: Accelerate the process without degrading the quality of the final image
- Use Graphical Processing Units, **GPUs**, is 5x faster
- Adapt code to run in **GRID**



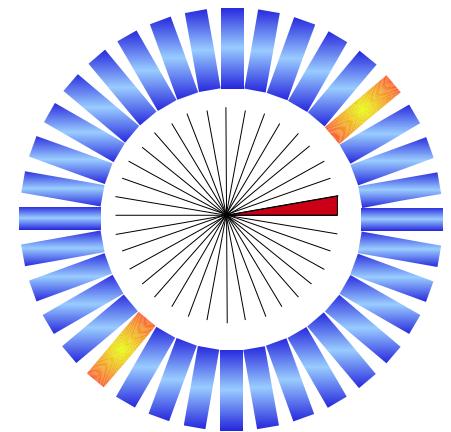
Lossy

- Goal: Accelerate the process allowing some degradation of the quality of the final image
- New algorithm: **Simulated One Pass List Mode, SOPL**
 - On the fly
 - Hybrid based on standard ray tracing techniques



Size

- The imaging device is usually described by a huge matrix (~100 Gbytes)
- Not all elements are independent, some are related by the symmetry of the imaging device
- Computing only the independent pieces of the system matrix can drastically decrease the size of the matrix.



Conclusiones

- La física médica constituye un apoyo esencial a la medicina, que aumenta al mejorar las tecnologías.
- Es un campo de investigación multidisciplinar, que combina la física básica con las aplicaciones, y con otras disciplinas (medicina, matemáticas, informática...).
- La física de partículas es esencial en imagen y en terapia.
- Existe mucho margen de mejora.

La gente con ideas nuevas es siempre bienvenida!

Agradecimientos

- Contrato Ramón y Cajal.
- ASPID. European Commissions 7th Framework Programme. Marie Curie European Reintegration Grant (GA num 239362).
- ENVISION project, European Commission, FP7 Grant Agreement num 241851.
- ENTERVISION ITN, European Commission, FP7.
- Ministerio de Economía y Competitividad, Ministerio de Ciencia e innovación (**FPA2014-53599-R**).
- Generalitat Valenciana (**GV/2013/133**), Universitat de València (**UV-INV-PRECOMP12-80755**)



Aplicación de las distintas técnicas

- **NO SON EQUIVALENTES**
- El médico tiene que decidir cuándo son necesarias y cuál es la más apropiada.
- Se siguen protocolos.

Técnica	Agente	Radiación ionizante
Radiografía/TAC	Fotones (rayos X)	SI
Resonancia	Campos electromagnéticos	NO
Ecografía	Ultrasonidos	NO
SPECT/Gamma	Fotones (rayos gamma)	SI
PET	Positrones → Fotones (gamma)	SI

Radiactividad

- Criterio ALARA – Para todo.
- Radiactividad natural: rayos cósmicos y materiales radiactivos presentes naturalmente, viajeros frecuentes en avión.
- Las dosis que se aplican están muy, muy lejos de tener efectos apreciables a corto plazo.
- Siempre existe un riesgo – probabilidad máxima de 1/1000 de desarrollar un cancer secundario debido a algunas de las pruebas con mayor radiación.

Probabilidad 'natural' es 1/5.

- Importante tener control de las pruebas que se hacen.

Siempre justificado:

- Cuando sea necesario
- Con importante valor diagnostico.

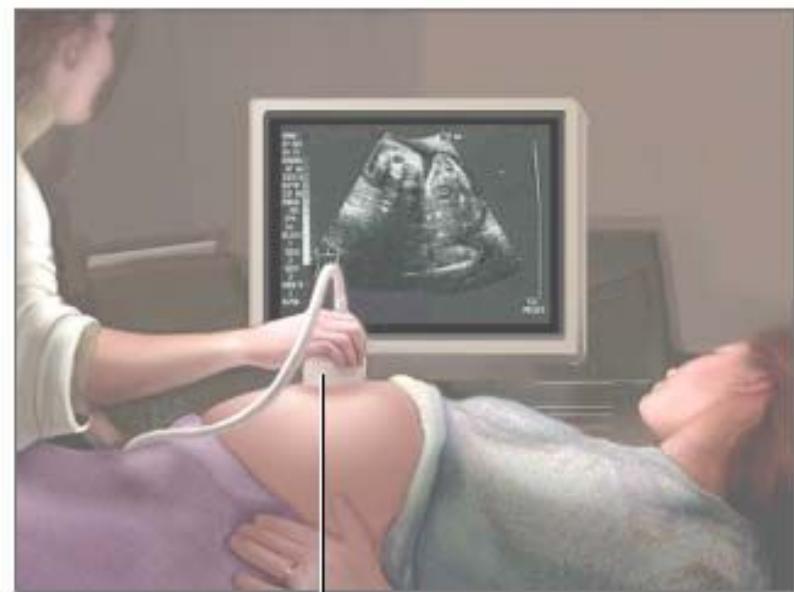
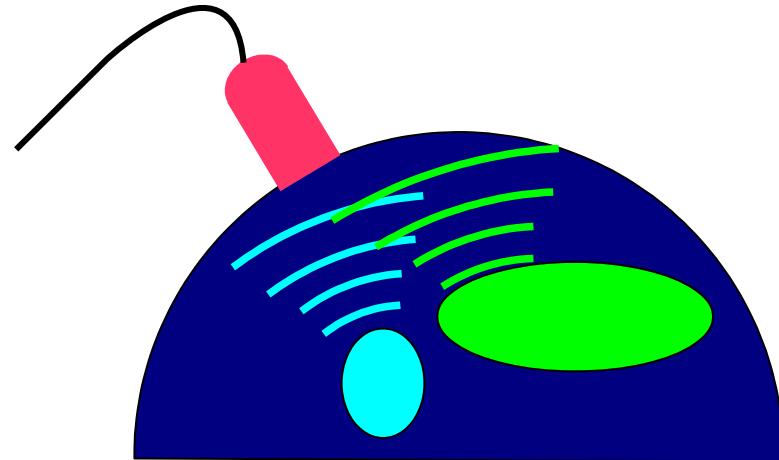
Dosis

Dosis efectiva (mSv)	Ejemplos y equivalencias
0	Ecografía, resonancia magnética*.
< 1	<ul style="list-style-type: none">- Densitometría ósea: 0.001 mSv.- <i>Vuelo Madrid-Paris</i>; 0.005 mSv.- Radiografías de tórax, extremidades o pelvis- 0.1 mSv (Rad. Natural 10 días).- <i>Vuelo Madrid-Nueva York</i>: 0.03 mSv.- Mamografía - 0.4 mSv (Rad. Natural 7 semanas).
1-5	<ul style="list-style-type: none">- <i>Rad. Natural 1 año</i>: 2-3 mSv.- RX de columna lumbar, gammagrafía ósea, TAC de cabeza y cuello – 4 mSv
5-10	<ul style="list-style-type: none">- TAC de tórax y abdomen- 7 mSv.
>10	<ul style="list-style-type: none">- TAC de abdomen/pelvis: 10-20 mSv (Rad natural 4-8 años)- PET/TAC: 25 mSv

* Aquí sólo se habla de radiación, no de otro tipo de riesgos.

Ecografía (Ultrasonidos)

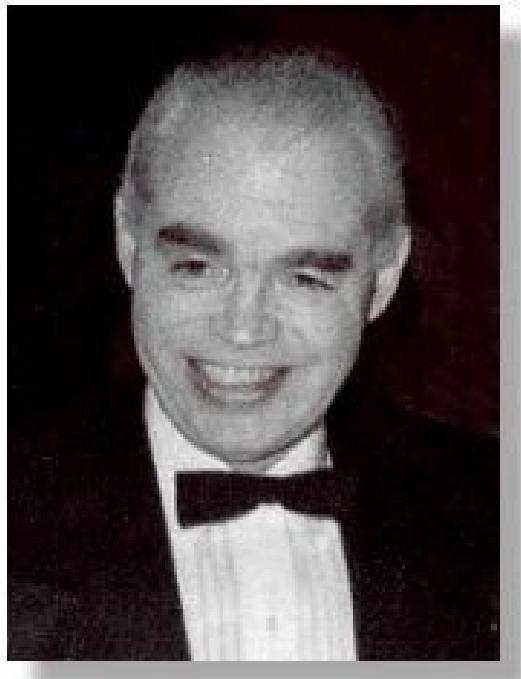
- Ondas sonoras de alta frecuencia (ultrasonidos) 1-10 MHz.
- El *transductor* las emite y recibe las ondas reflejadas en los distintos órganos (eco)



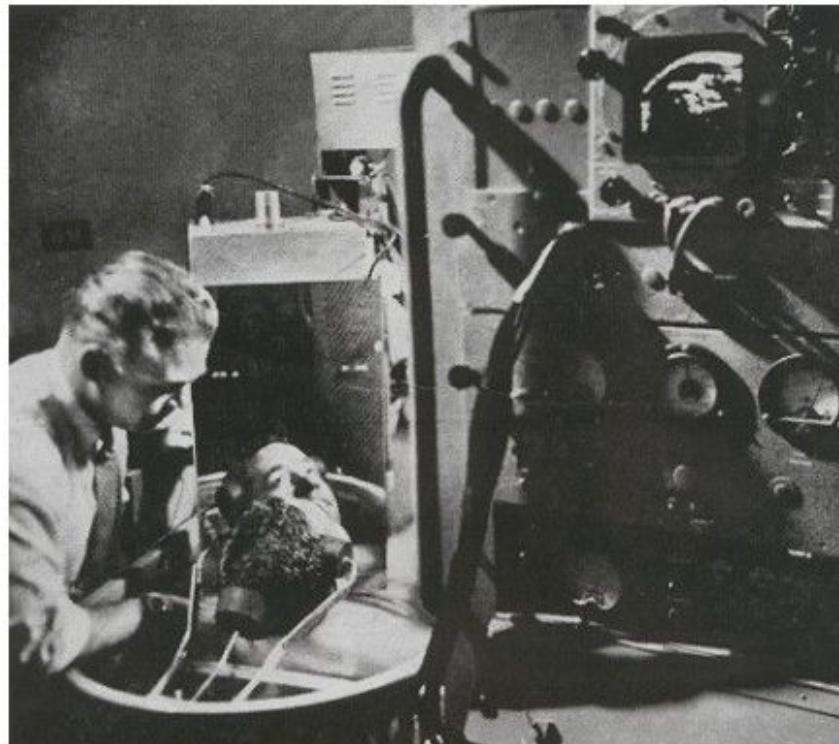
Transductor

Ecografía (ultrasonidos)

- En 1942, el psiquiatra Karl Dussik intentó detectar tumores cerebrales midiendo la atenuación del sonido a través del cráneo (hiperfonografía del cerebro).
- En 1947 Douglas Howry detectó estructuras de tejidos suaves al examinar los reflejos producidos por los ultrasonidos.



Douglass Howry, late 1960s



Ecografía (ultrasonidos)

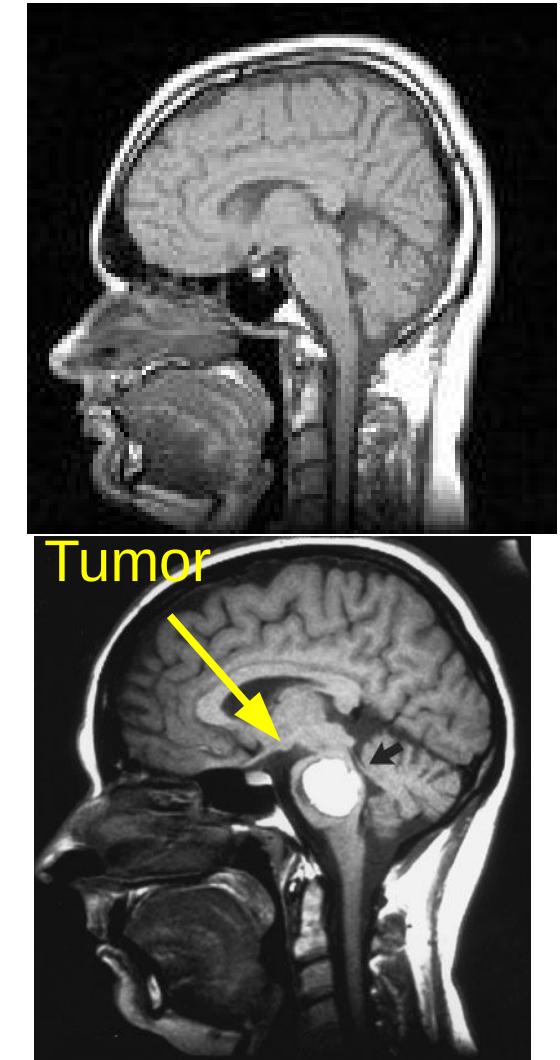
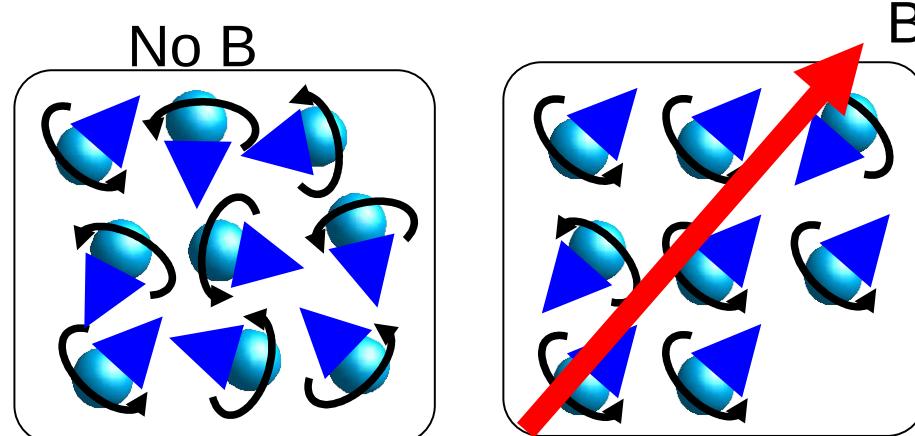
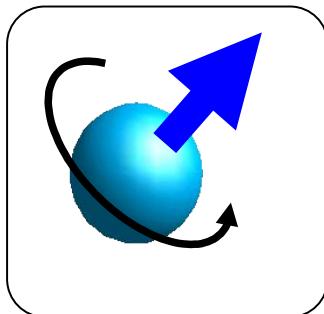
- Ecografía Doppler: permite visualizar el flujo que atraviesa estructuras del cuerpo (ej. Vasos sanguíneos).
- Ecografía 3D: se emiten los ultrasonidos en diferentes ángulos y direcciones.
- Ecografía 4D: imagen en tiempo real.



Resonancia magnética

- Campos magnéticos y señales de radiofrecuencia que perturban los protones del tejido.
- La señal que devuelven los protones cuando cesa la perturbación es detectada, y depende del tejido.
- Muy alta resolución (micras) y permite ver tejidos blandos.
- No es radiación ionizante y no se han visto efectos hasta la fecha. Incompatible con metales.

Como una brujula y un iman



Basada en el momento magnético nuclear de los átomos

Terapia hadrónica en Europa

Valencia forma parte de la plataforma Europea ENLIGHT (European Network for LIGHT ion Hadron Therapy) para terapia hadrónica

El proyecto Europeo ENVISION (FP7) está enfocado a la mejora de la terapia hadrónica en todos sus aspectos:

- Desarrollo de detectores para monitorización de la terapia
- Planificación del tratamiento
- Simulaciones
- Dosimetría en vivo
- Blancos móviles
- Modelos físicos

