



37th INTERNATIONAL CONFERENCE
ON HIGH ENERGY PHYSICS

2 - 9 - JULY - 2014 - VALENCIA

La física de partículas en imagen médica y terapia

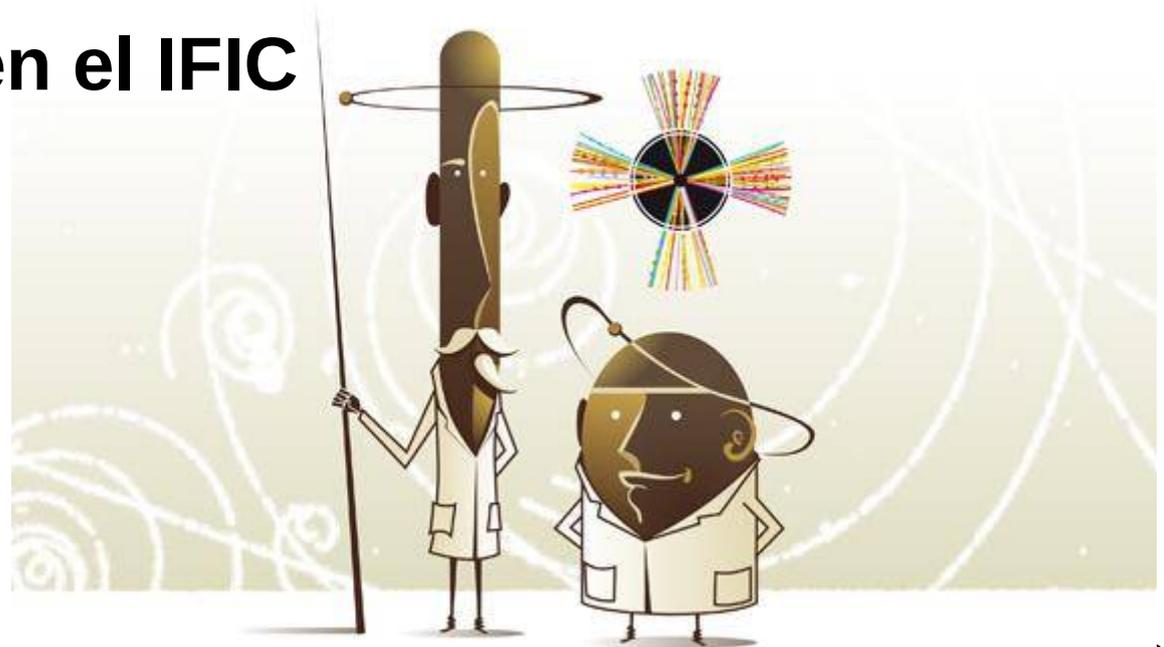
Gabriela Llosá Llácer

Instituto de Física Corpuscular (IFIC) CSIC-UEG

Instituto de Física Médica (IFIMED)

Contenido

- **La física médica y la imagen médica**
- **Física de partículas en imagen médica**
- **Física de partículas en terapia**
- **Investigación en el IFIC**



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



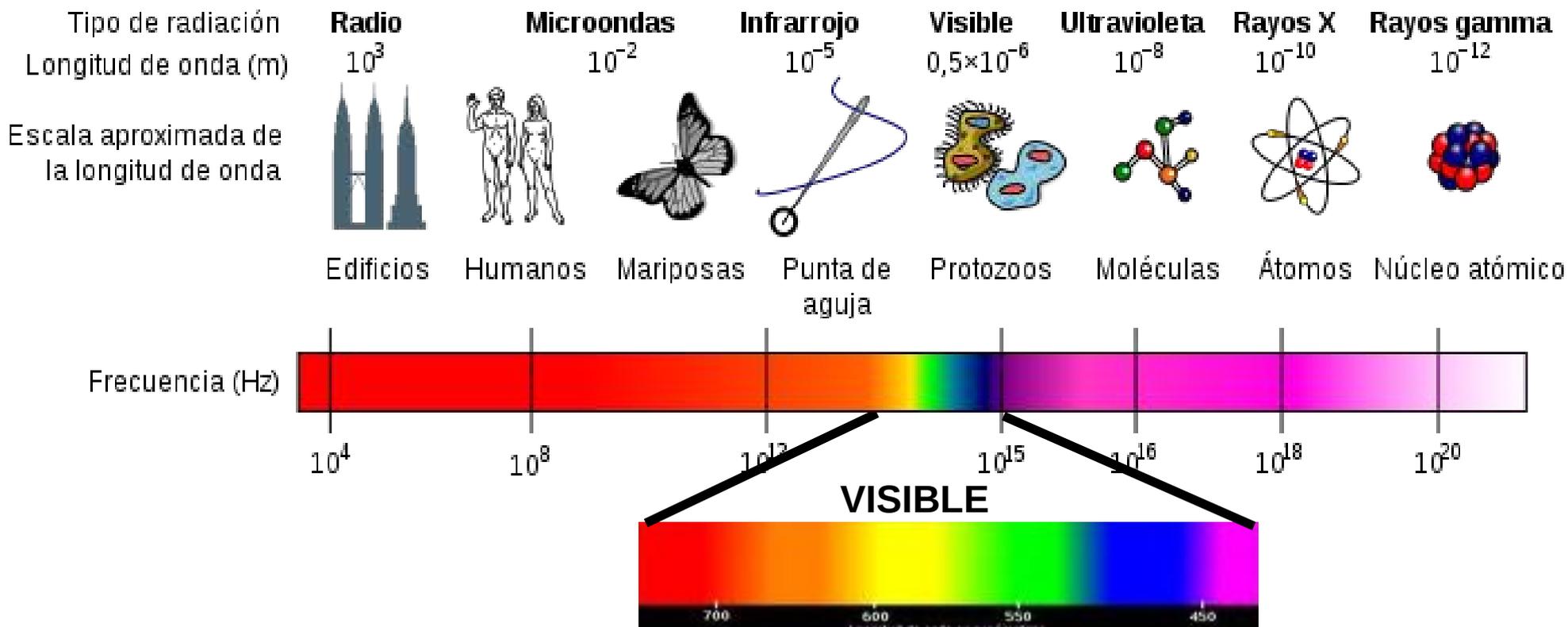
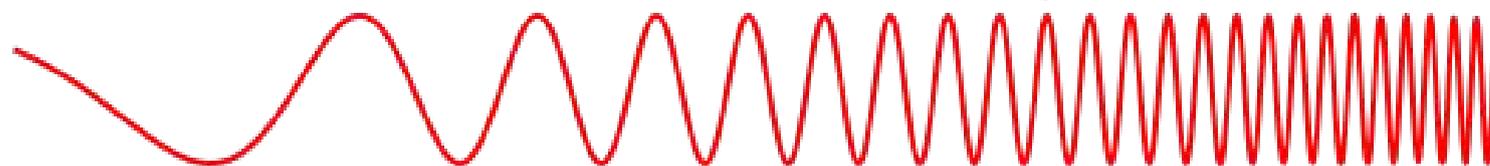
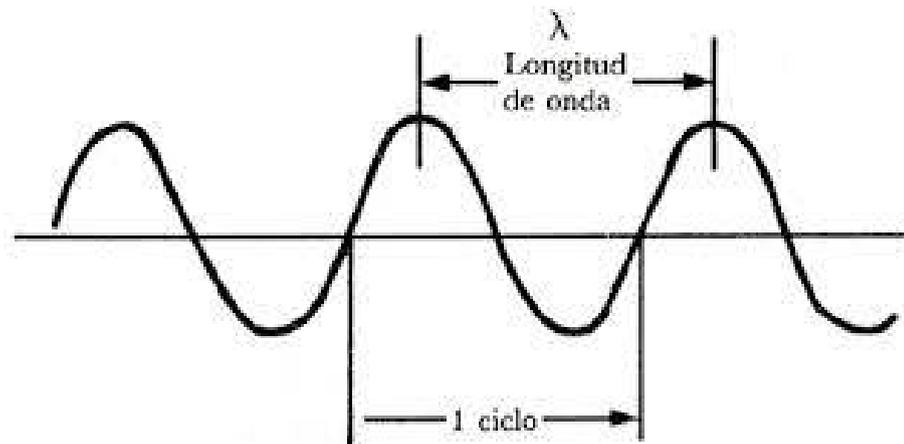
La física de partículas desempeña un papel esencial en la física médica

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 la física 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**

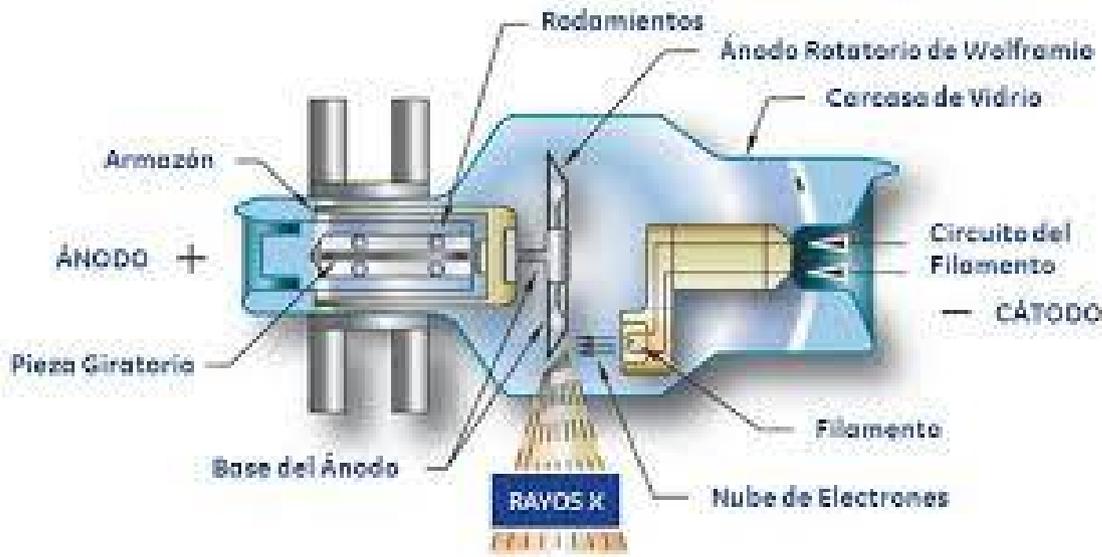
Fotones

- Imagen y radioterapia



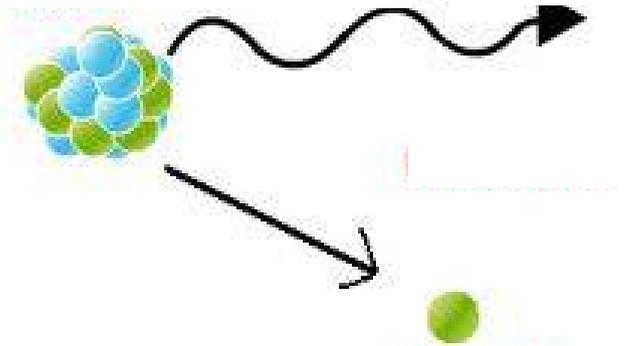
Fotones

Generadores de Rayos X



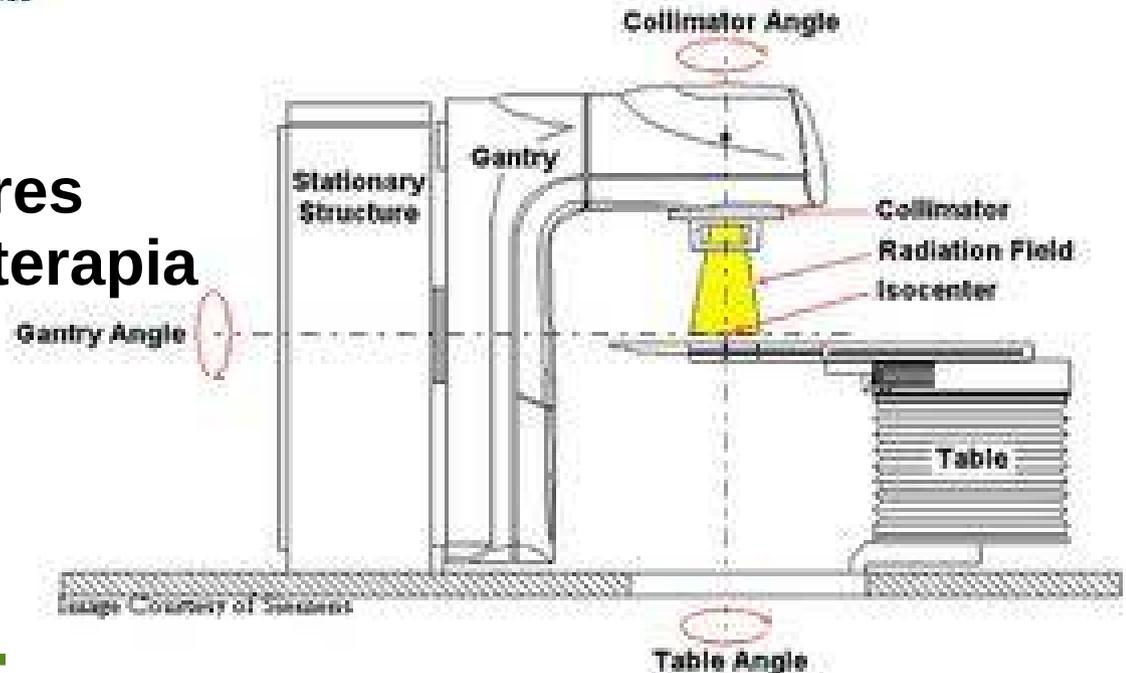
Desintegración radiactiva de núcleos

ÁTOMO RADIATIVO → FOTÓN



OTRAS PARTÍCULAS (p,n,e-,e+)

Aceleradores para radioterapia

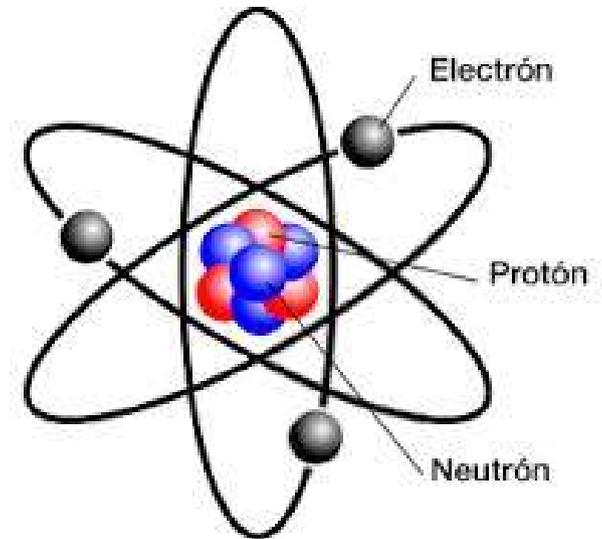


Positrones y protones

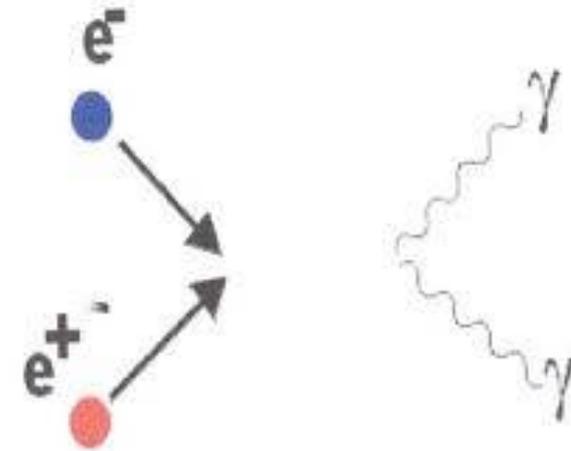
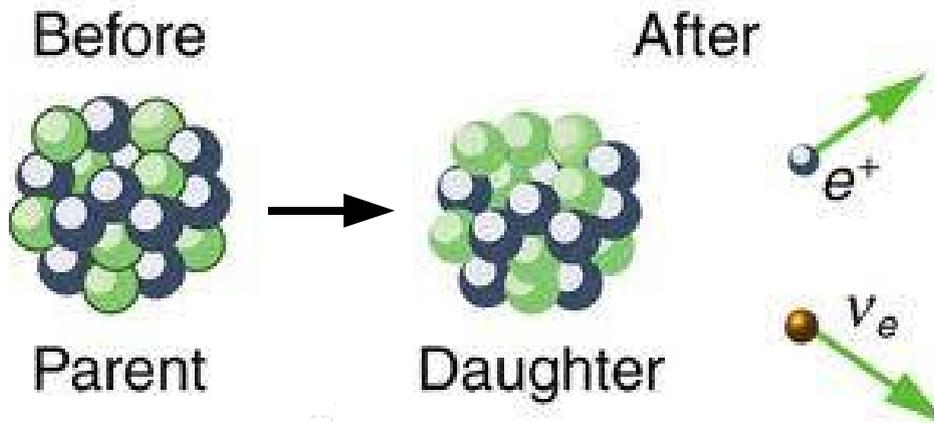
- Positrón: es la antipartícula del electrón

ANTIMATERIA!!

- misma masa y carga positiva
- Al encontrarse se aniquilan

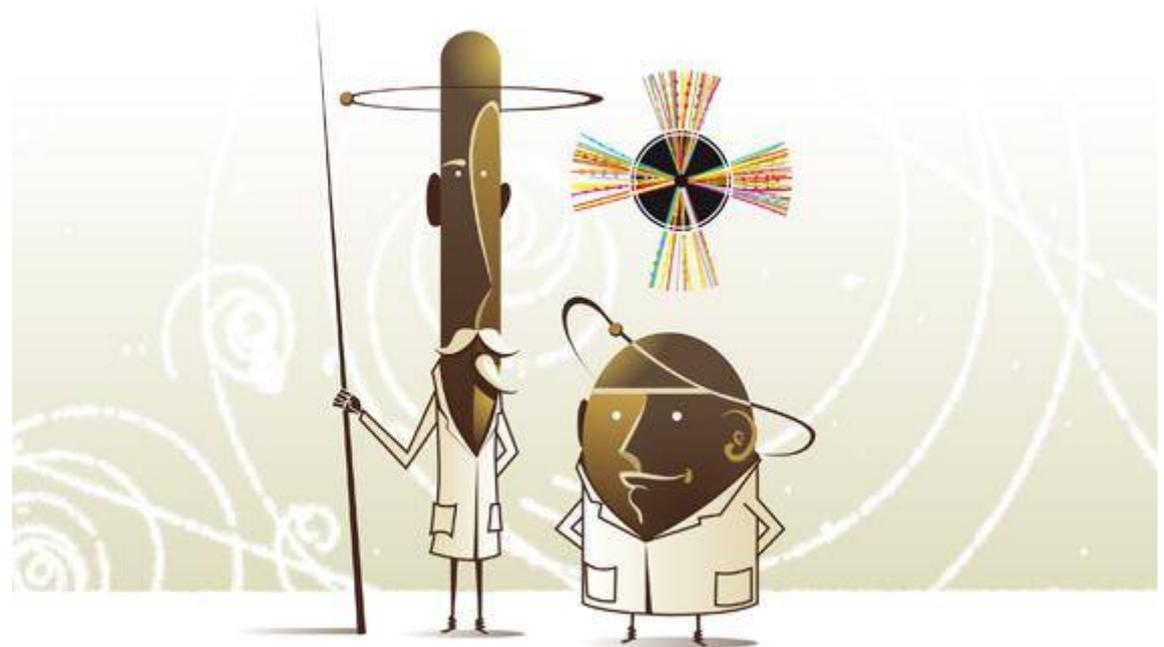


β^+ decay



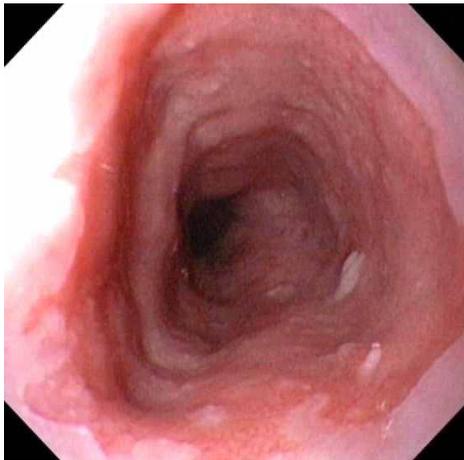
- Protones e iones de C, O (átomos a los que les faltan electrones)

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



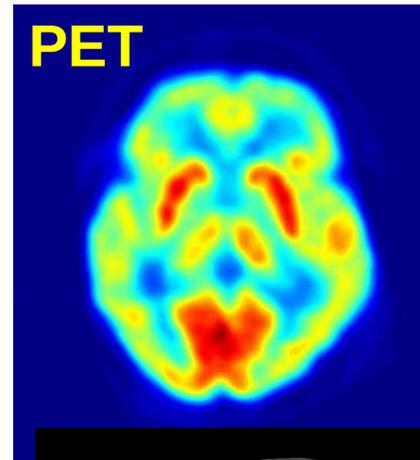
Ecografía



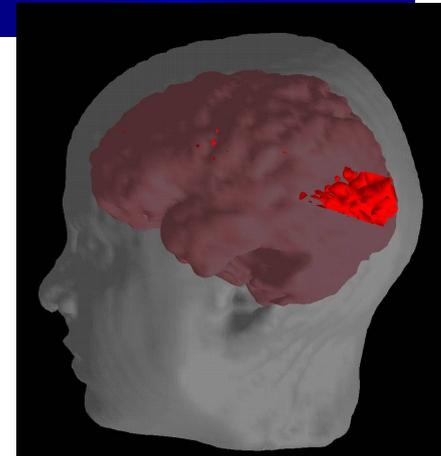
Resonancia magnética

Funcional

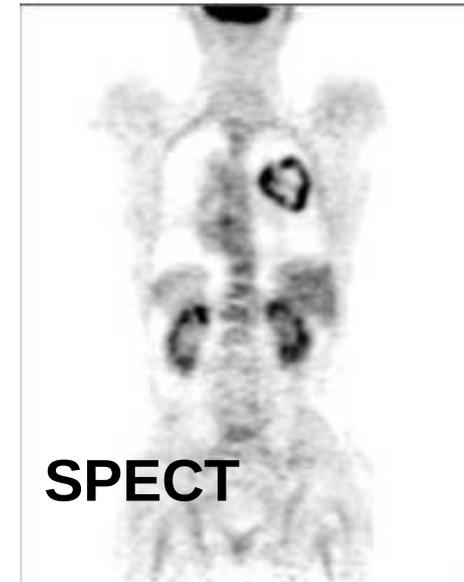
Información sobre procesos químicos y metabólicos



PET



Resonancia magnética funcional



SPECT

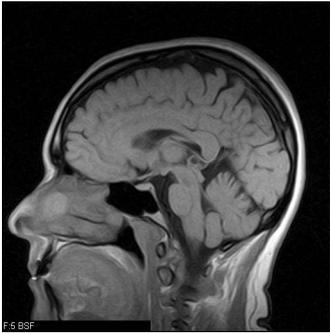
Imagen médica

Estructural

TAC



Resonancia magnética



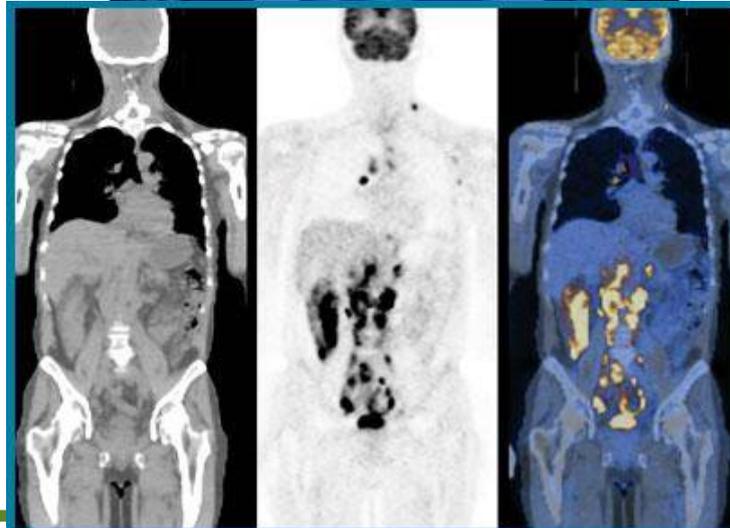
Ecografía



ICHEP 2014

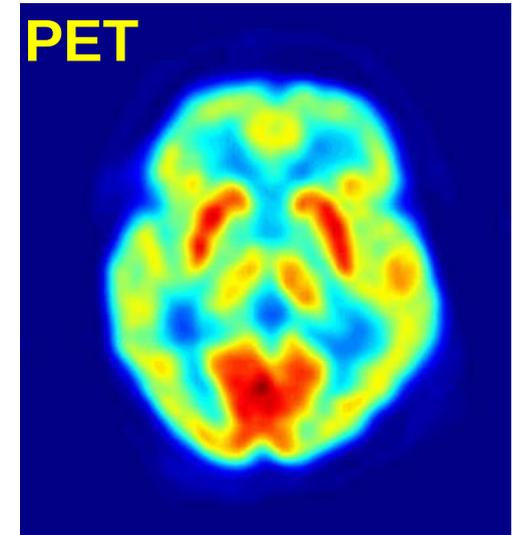
Multimodalidad

PET-TAC



Funcional

PET



SPECT



Imagen médica estructural. Rayos X

Estructural

TAC



Resonancia magnética



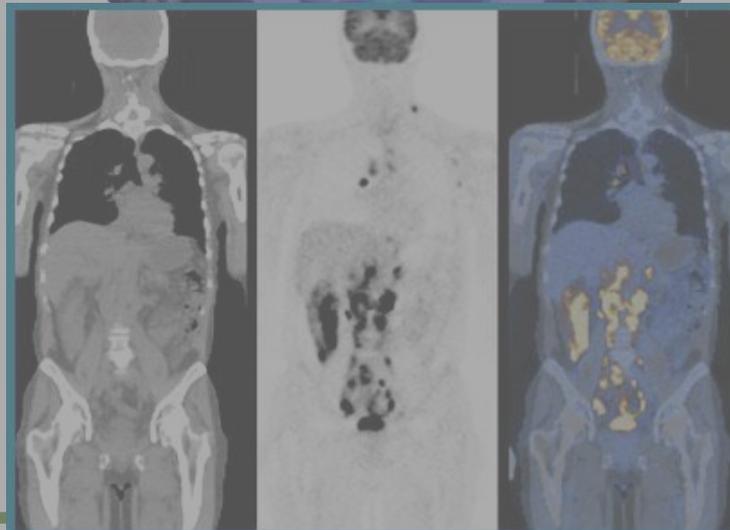
Ecografía



ICHEP 2014

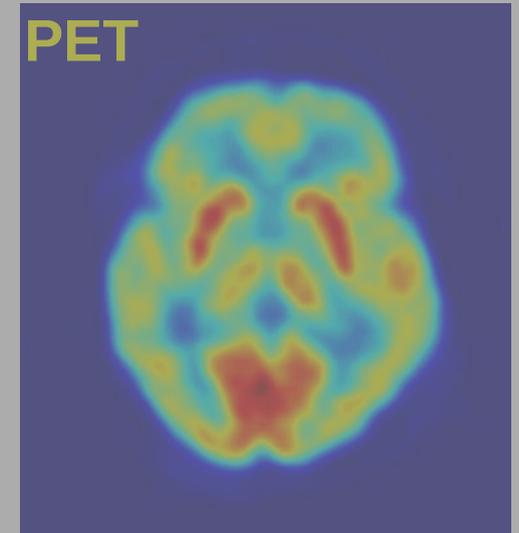
Multimodalidad

PET-TAC



Funcional

PET

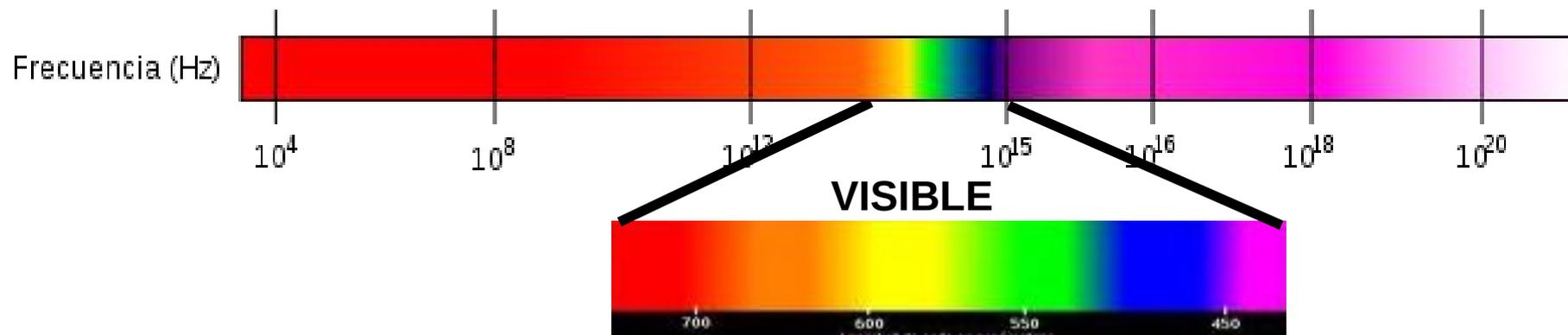
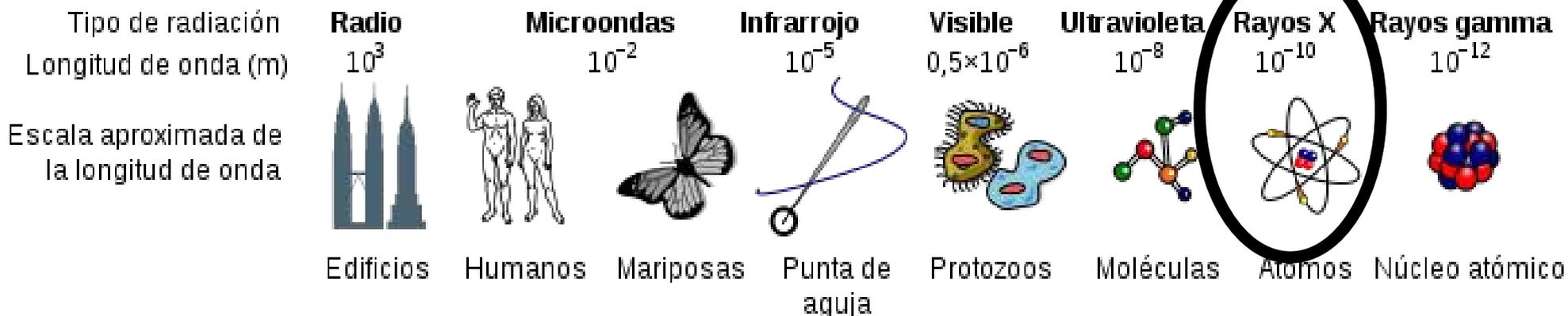
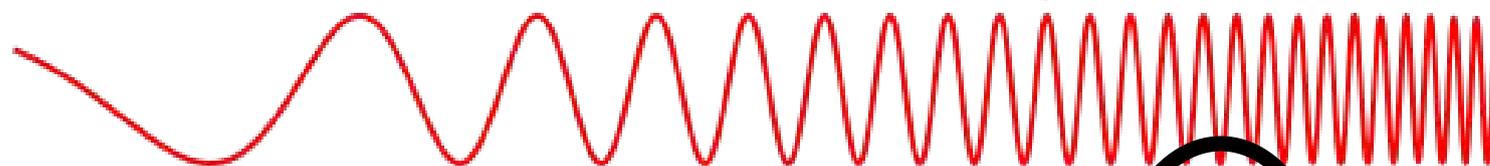
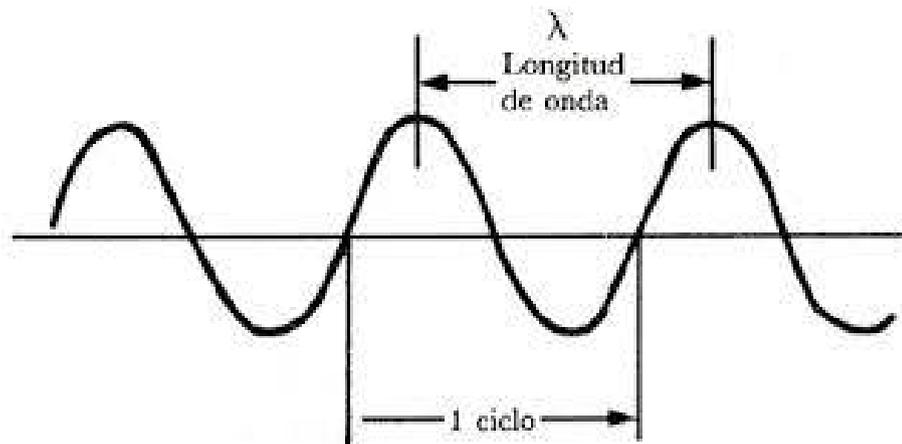


SPECT



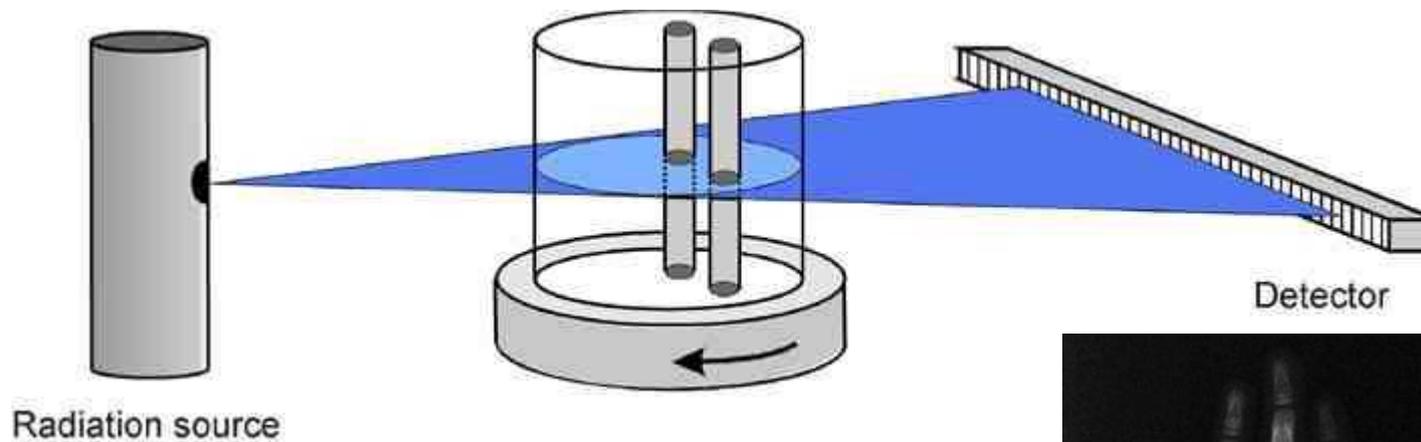
Fotones

- Imagen



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 atenúen más o menos. Es como ver la sombra.



Rayos X



Mamografía



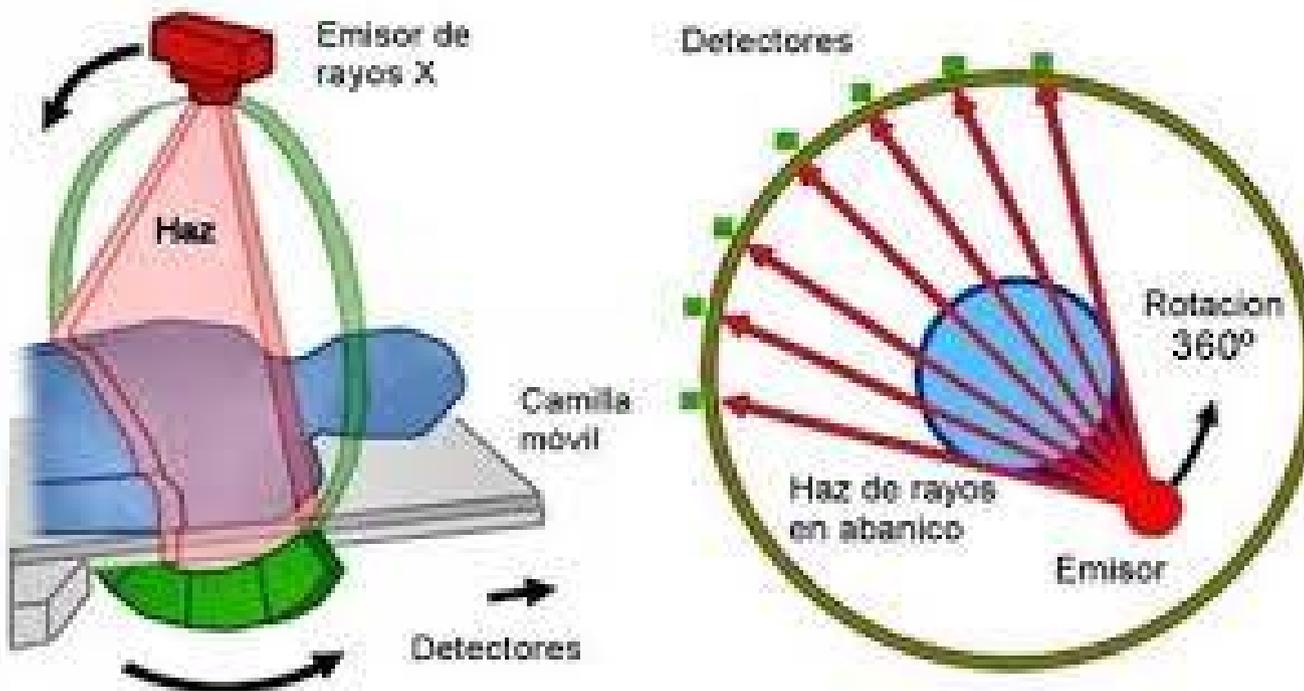
Radiografía



**Rayos X con
contraste**

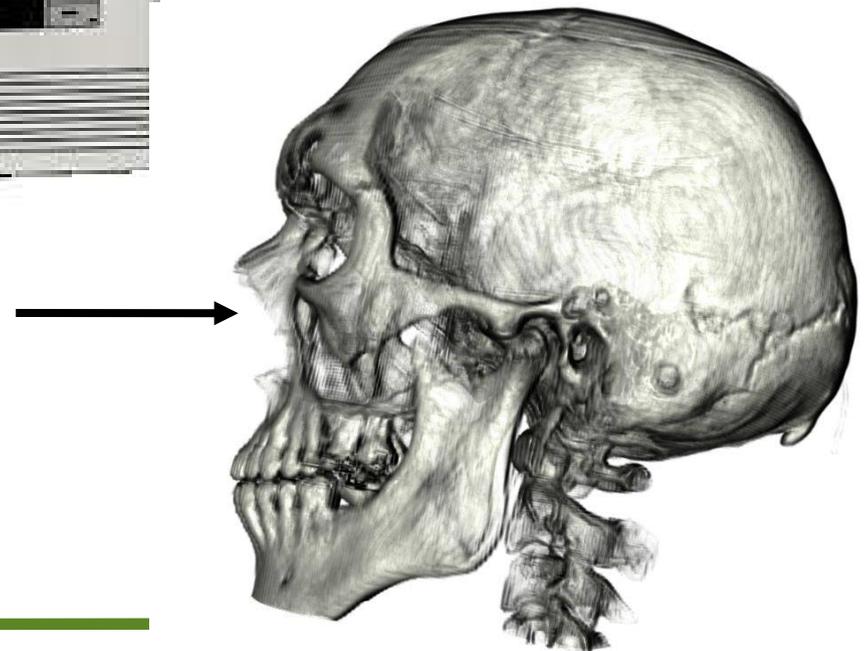
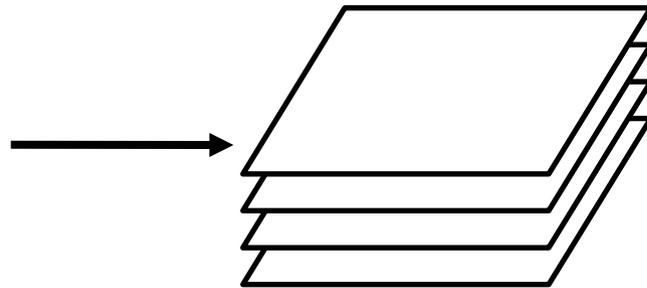
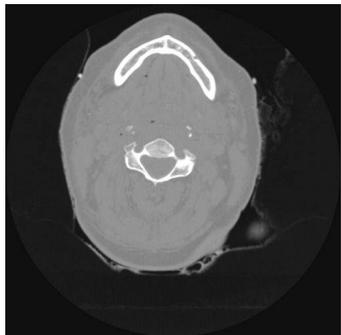
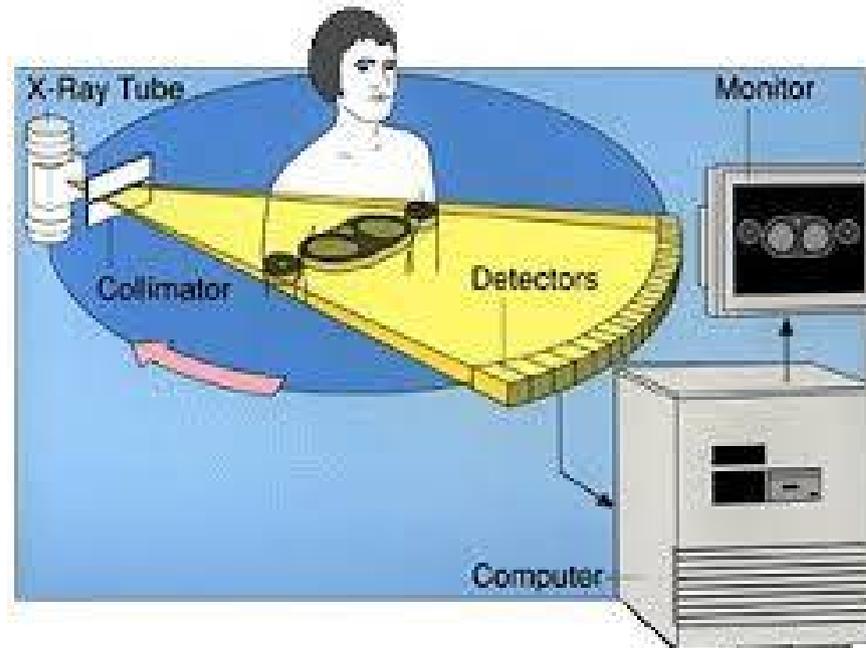
Tomografía axial computarizada (TAC)

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



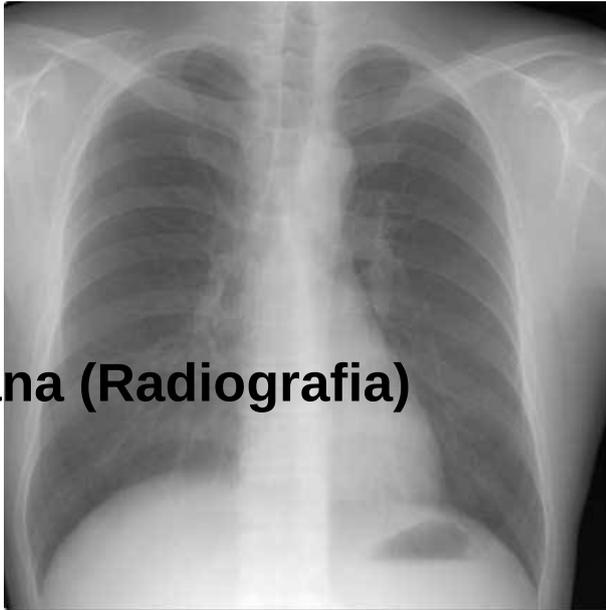
Tomografía axial computarizada (TAC)

- El scan de todo el cuerpo del paciente y la combinación de todas las secciones nos da una imagen en 3D.

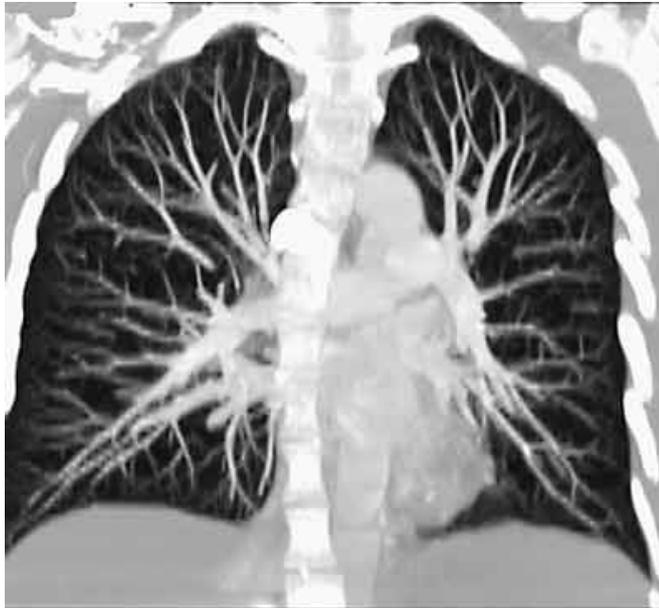


Tomografía axial computarizada (TAC)

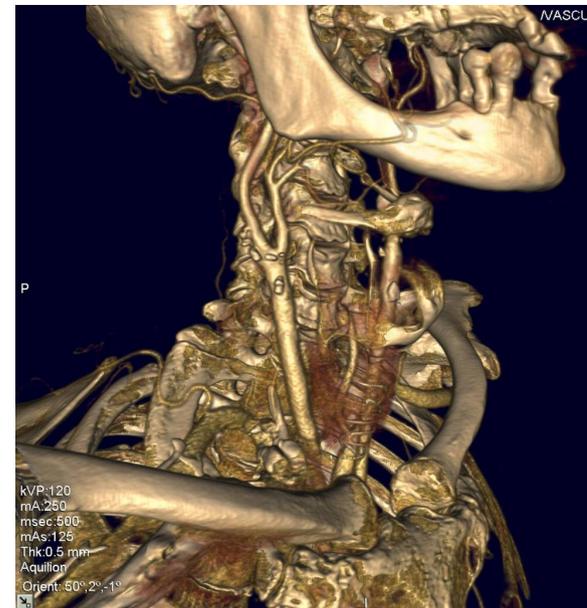
Imagen plana (Radiografía)



TAC



TAC con
contraste



Tomografía axial computarizada (TAC)

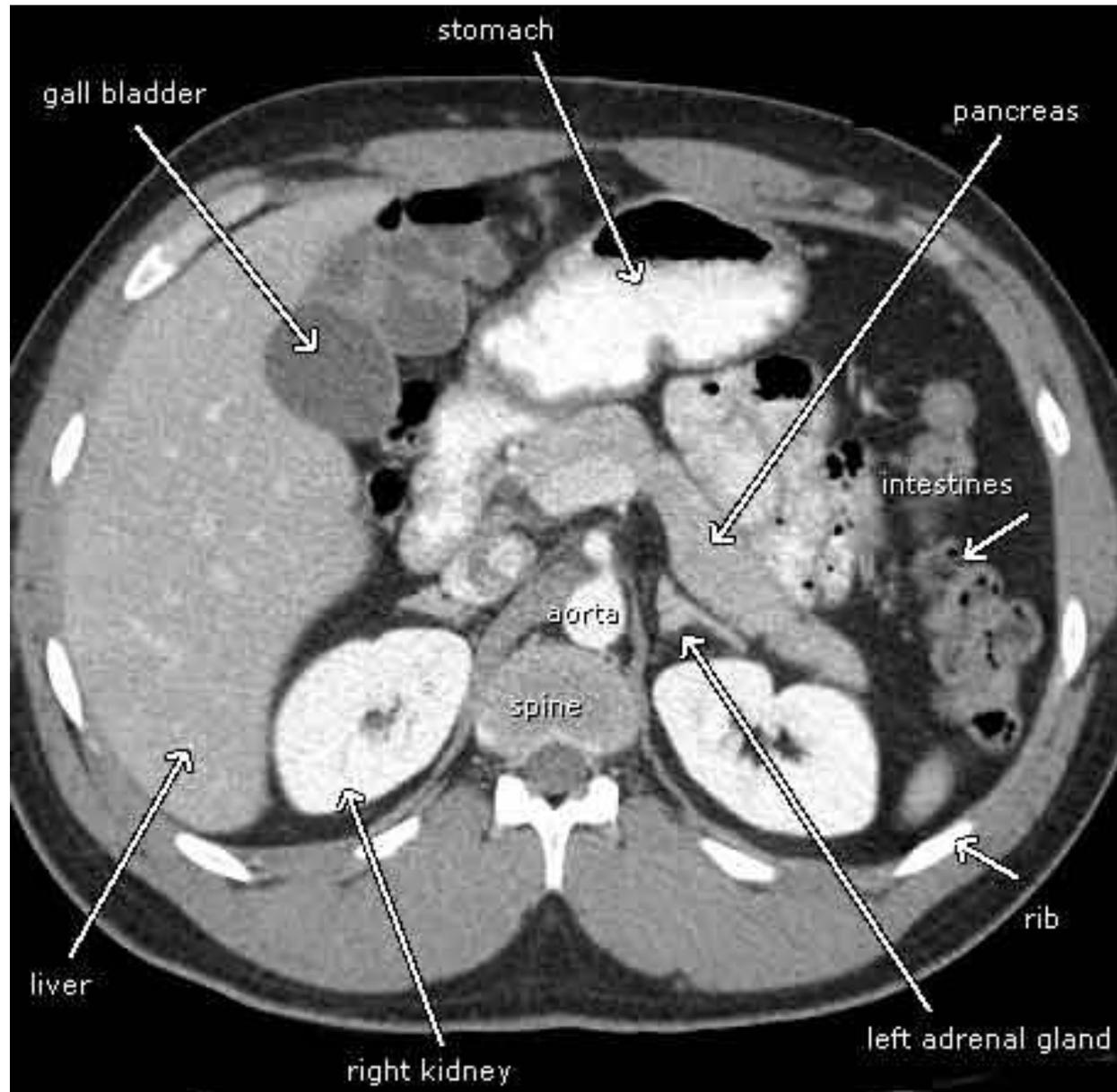


Imagen médica funcional. PET y SPECT

Estructural

TAC



Resonancia magnética

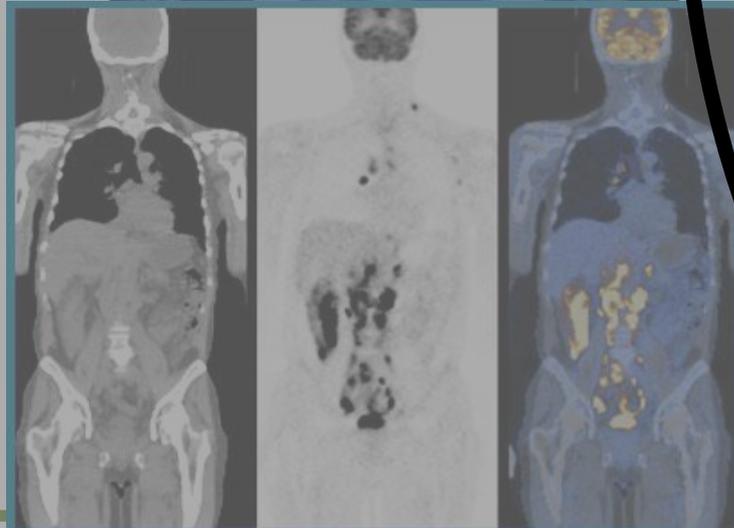


Ecografía



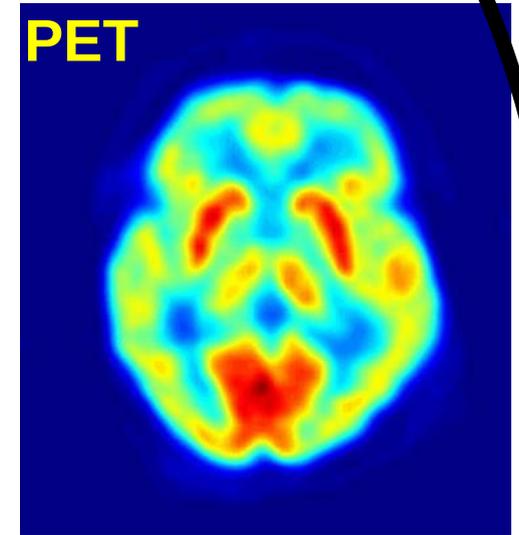
Multimodalidad

PET-TAC

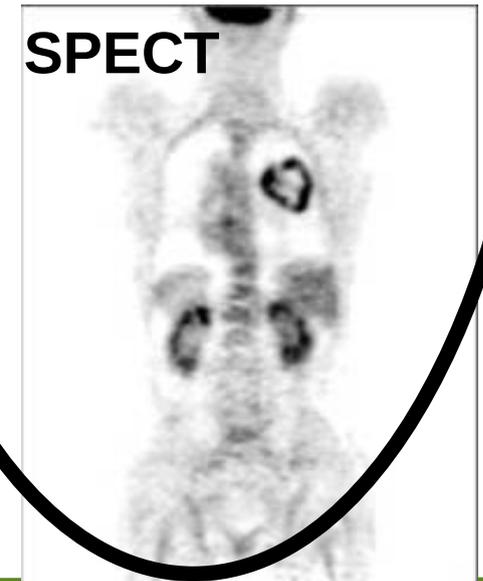


Funcional

PET

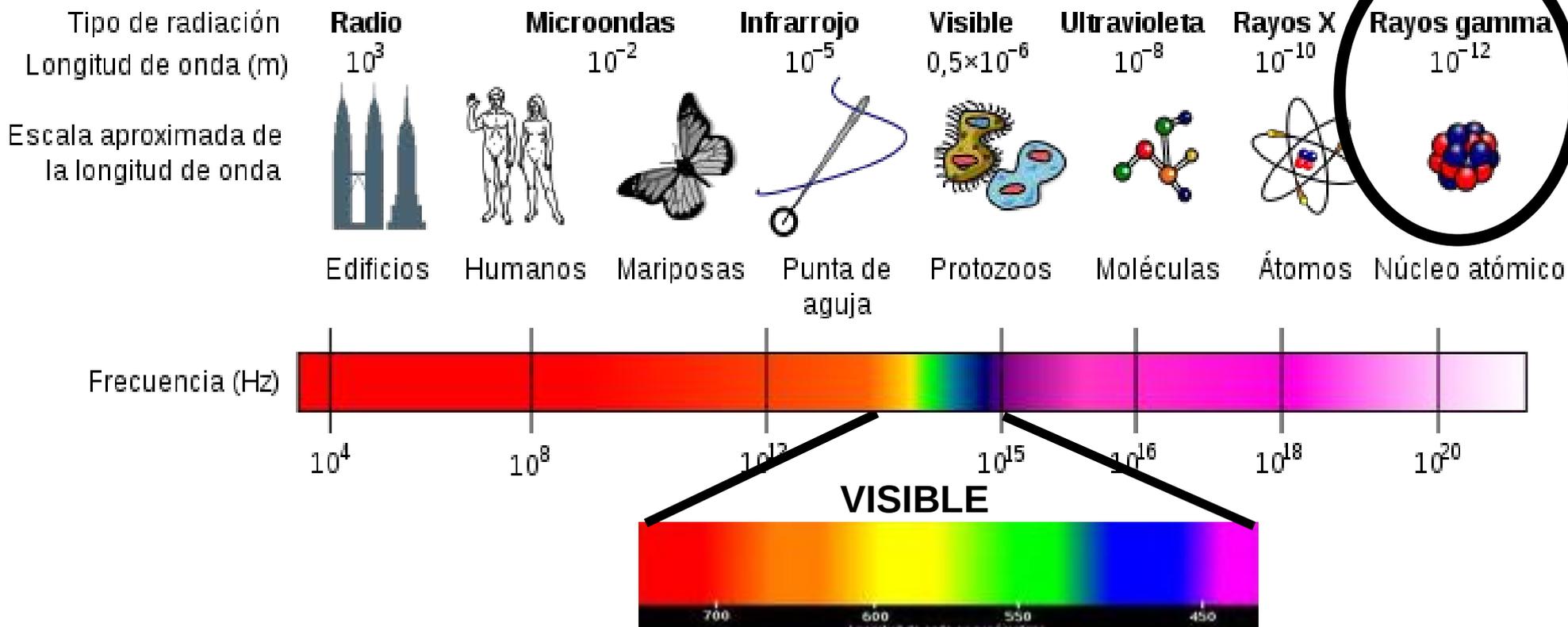
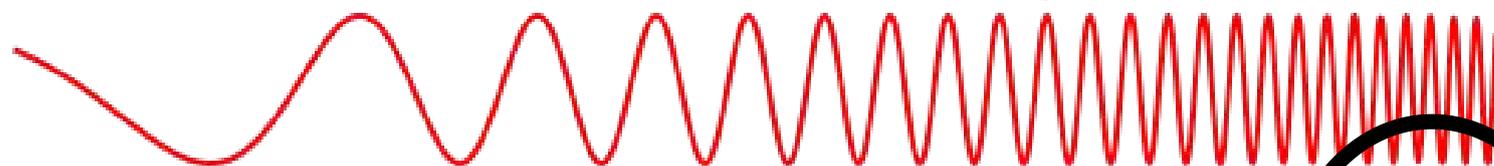
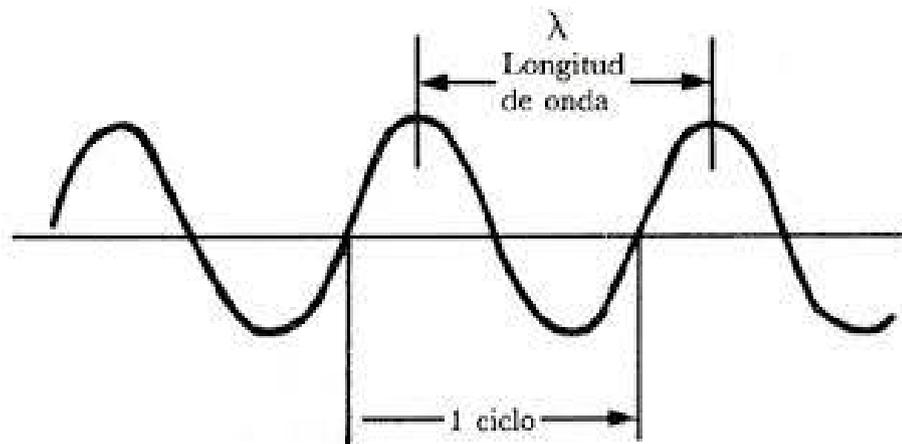


SPECT



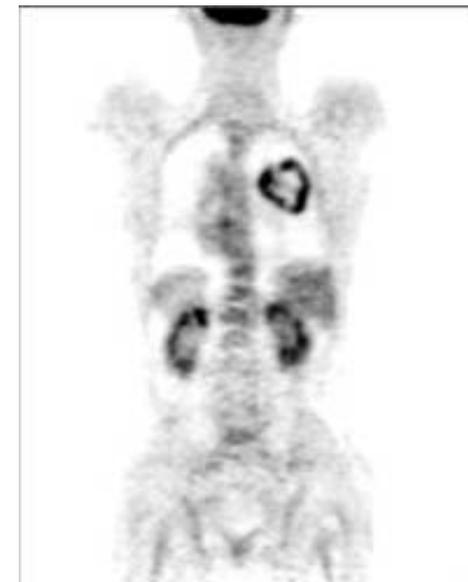
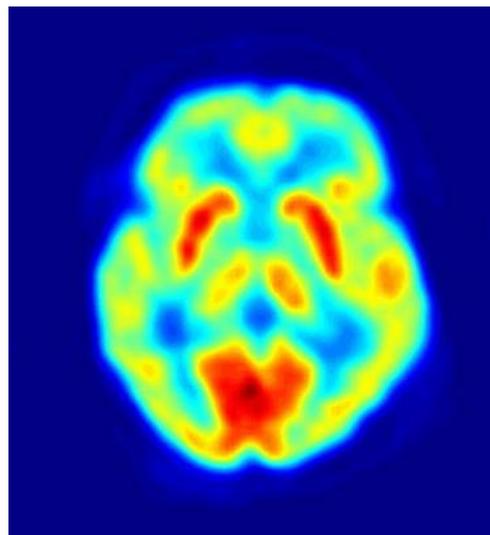
Fotones

- Imagen



Principales técnicas funcionales

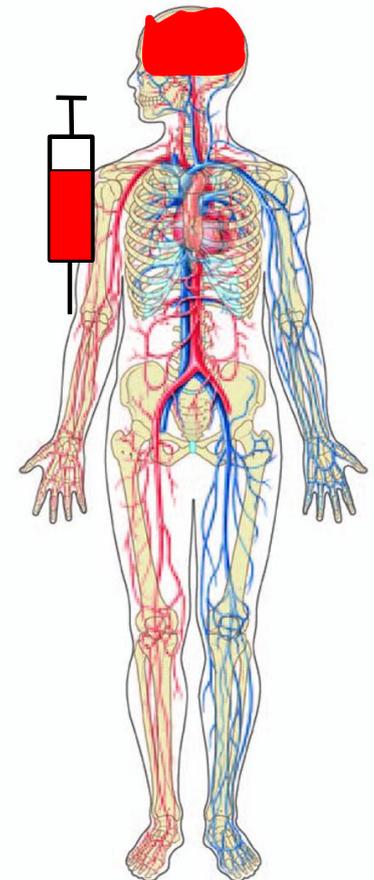
- Permiten ver el 'funcionamiento' de un órgano: procesos funcionales y metabólicos.
- Gammagrafía, Tomografía por emisión de un fotón (SPECT), tomografía por emisión de positrones (PET).
- Aplicaciones en oncología, neurología y cardiología.



Técnicas de emisión

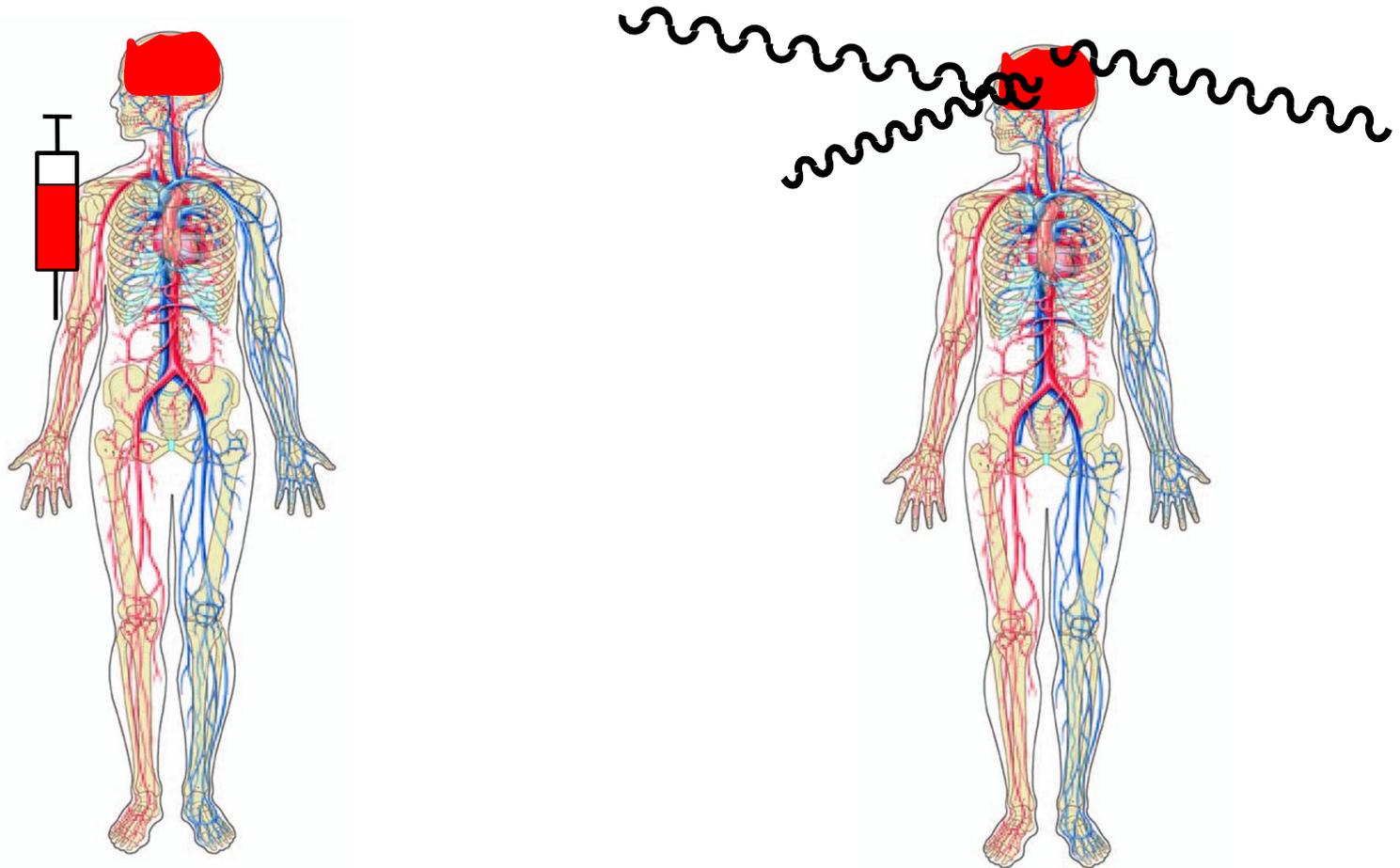
- Se administra al paciente un *radiotrazador*: sustancia con un componente radiactivo, preparada para acumularse en el órgano que queremos estudiar.

- 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

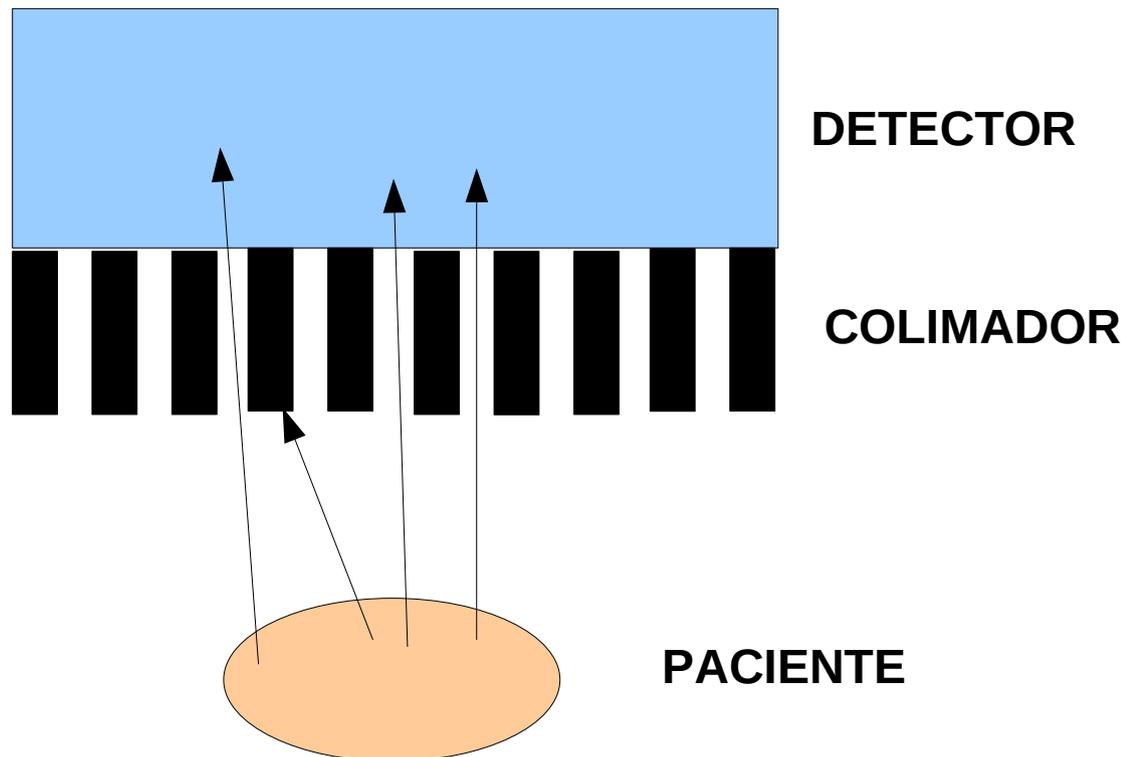


Gammagrafía

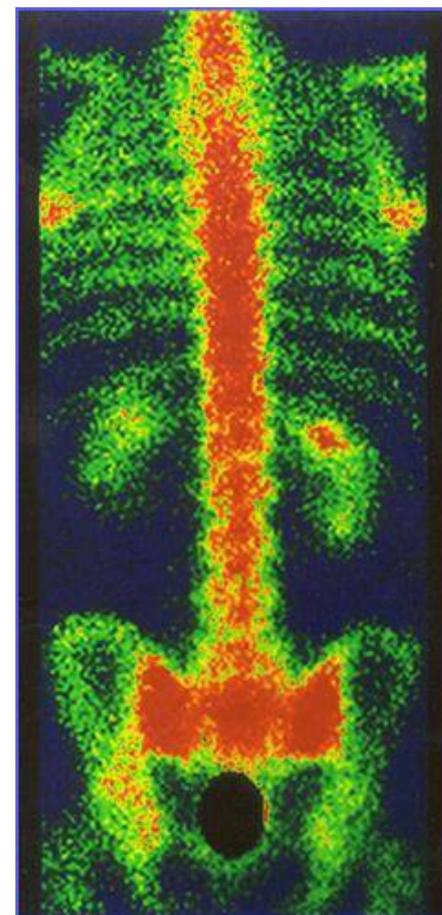
- Imagen plana de la emisión de fotones.
- Radiotrazadores emisores de fotones (100-300 keV)

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

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

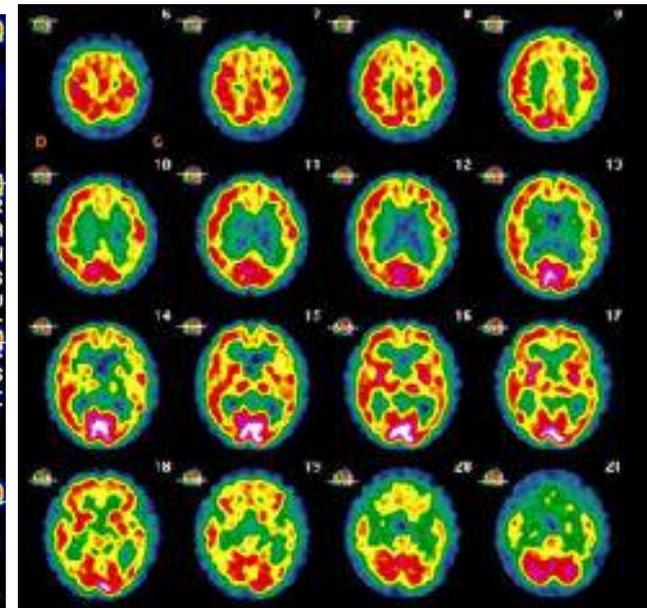
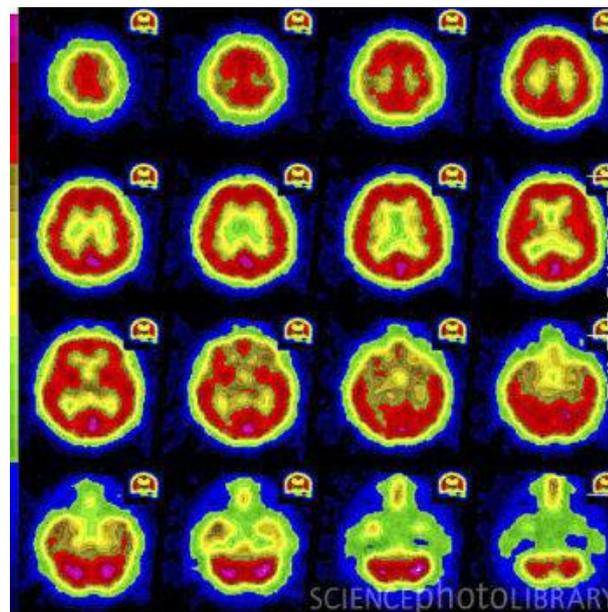
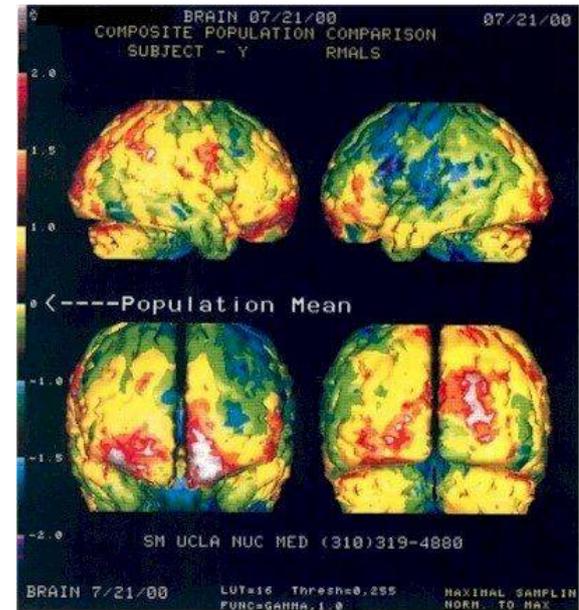


Gammagrafía



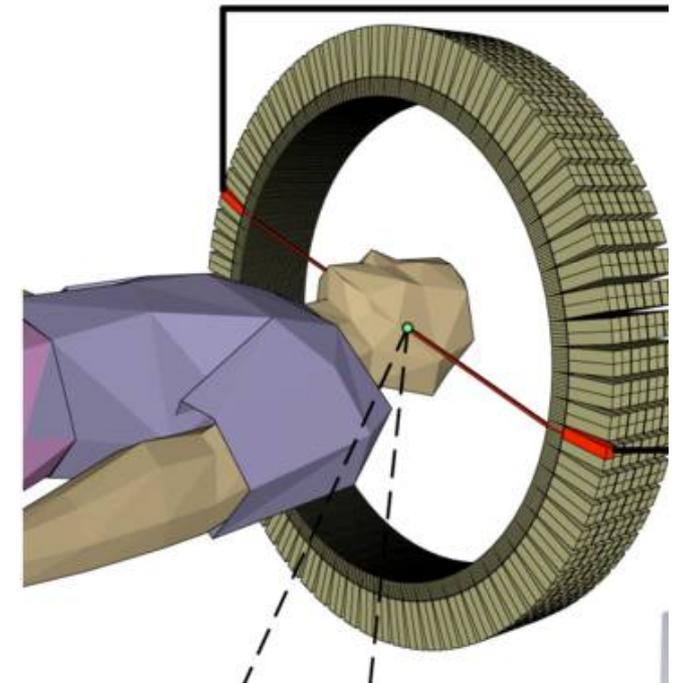
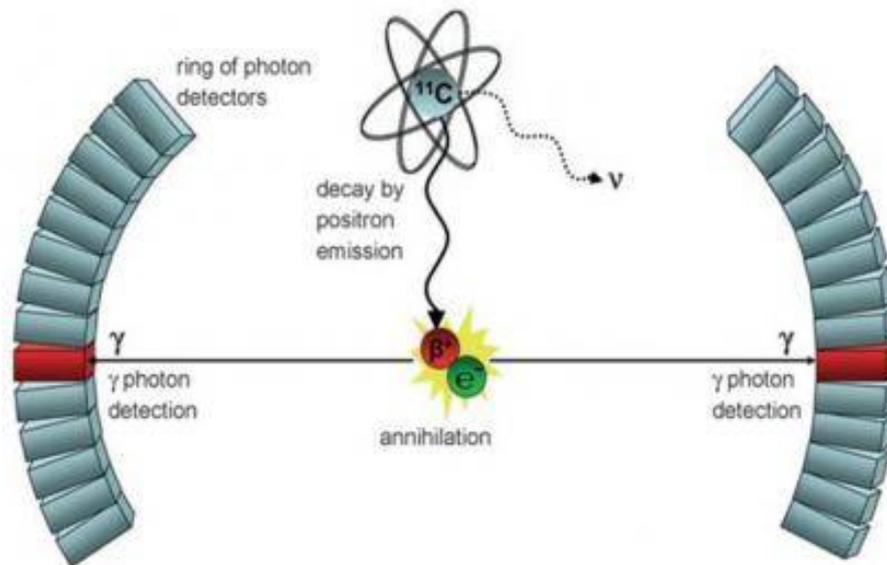
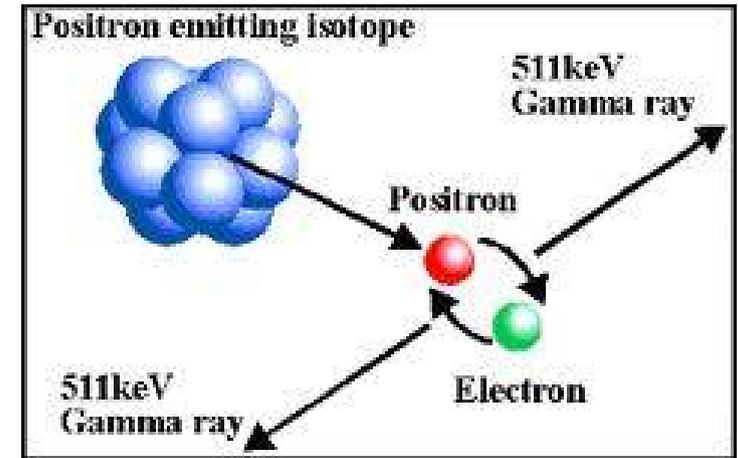
Tomografía por emisión de un fotón (SPECT)

- El detector gira alrededor del paciente. Imágenes tomográficas



Tomografía por emisión de positrones (PET)

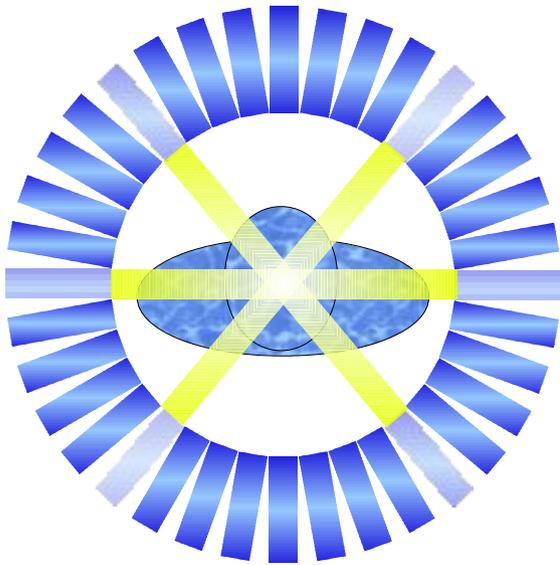
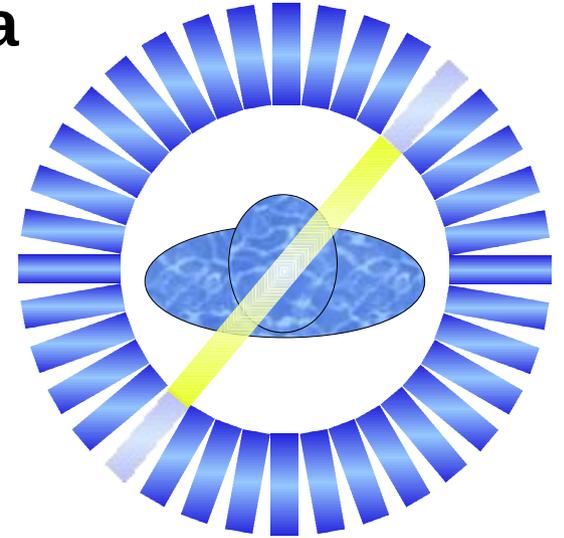
- El radiotrazador emite positrones, que se aniquilan con los electrones del tejido, produciendo dos fotones de 511 keV en sentidos opuestos.



- 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 línea de respuesta (LOR).
- Muchas LORs 'identifican' el origen de los fotones.



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

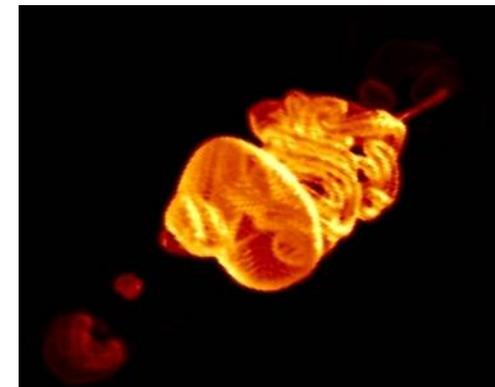
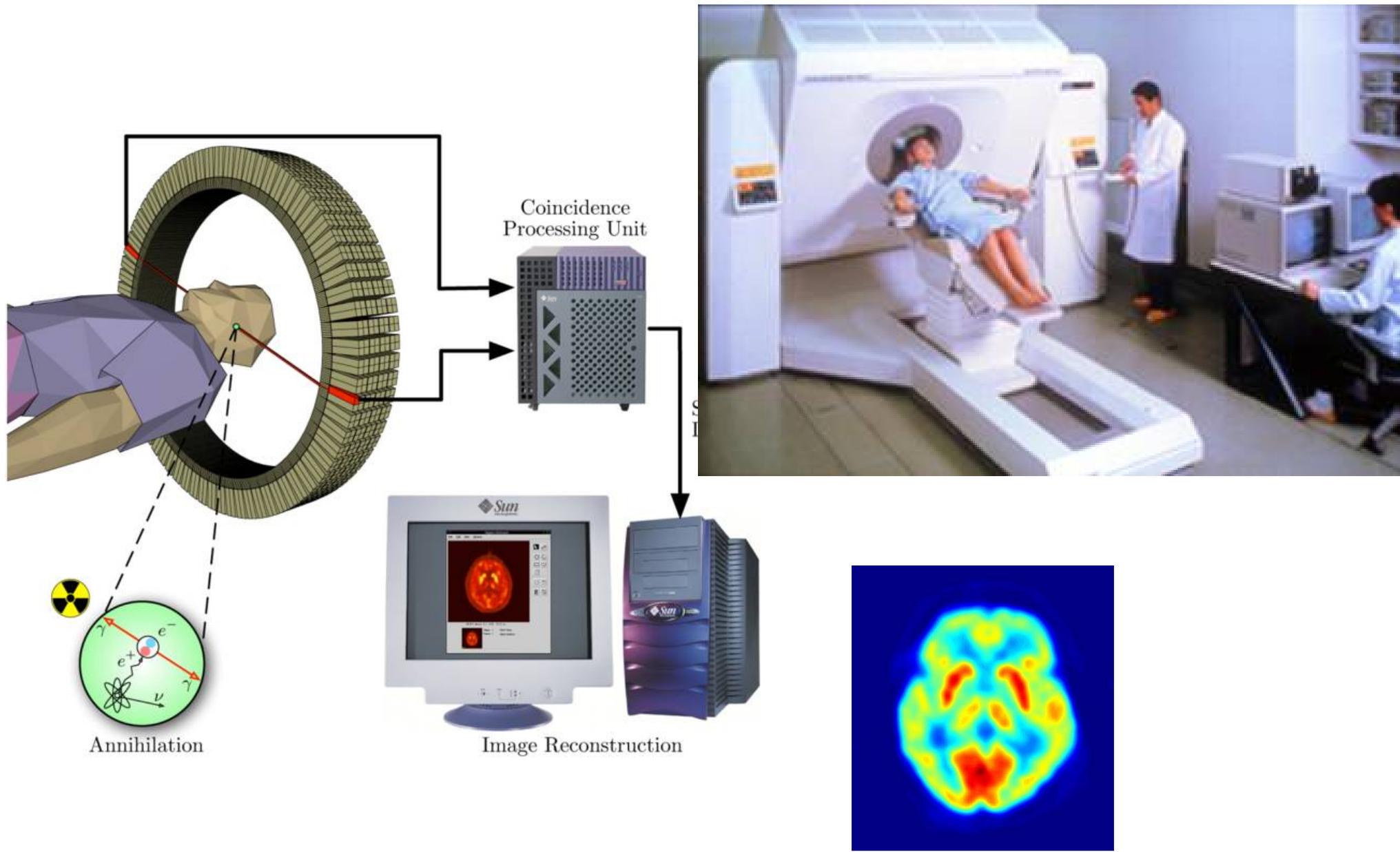


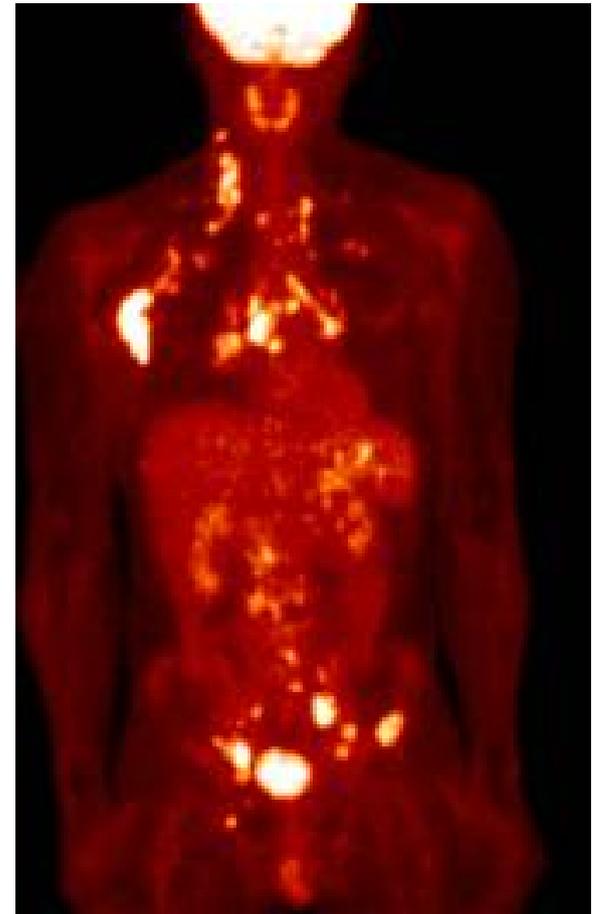
Imagen médica

Tomografía por emisión de positrones (PET)



Tomografía por emisión de positrones (PET)

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



Tomografía por emisión de positrones (PET)

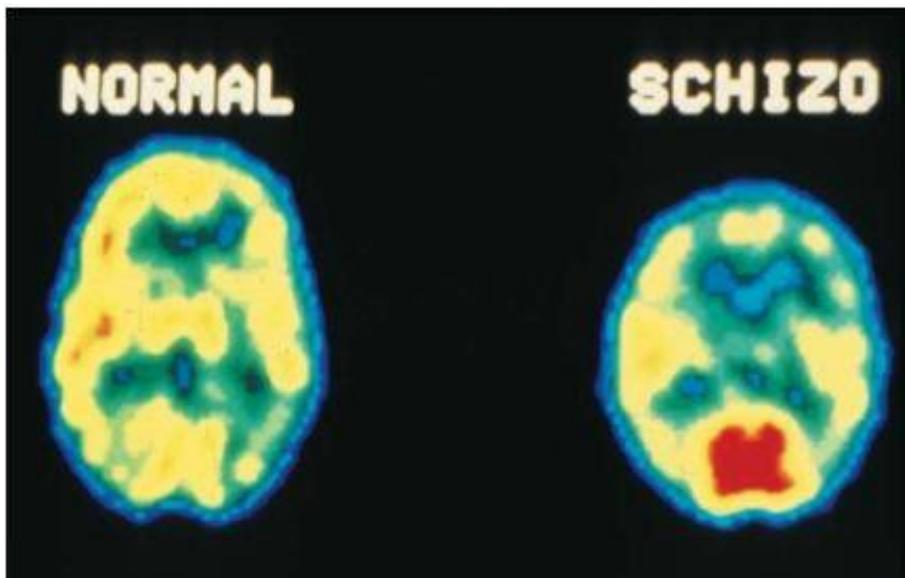
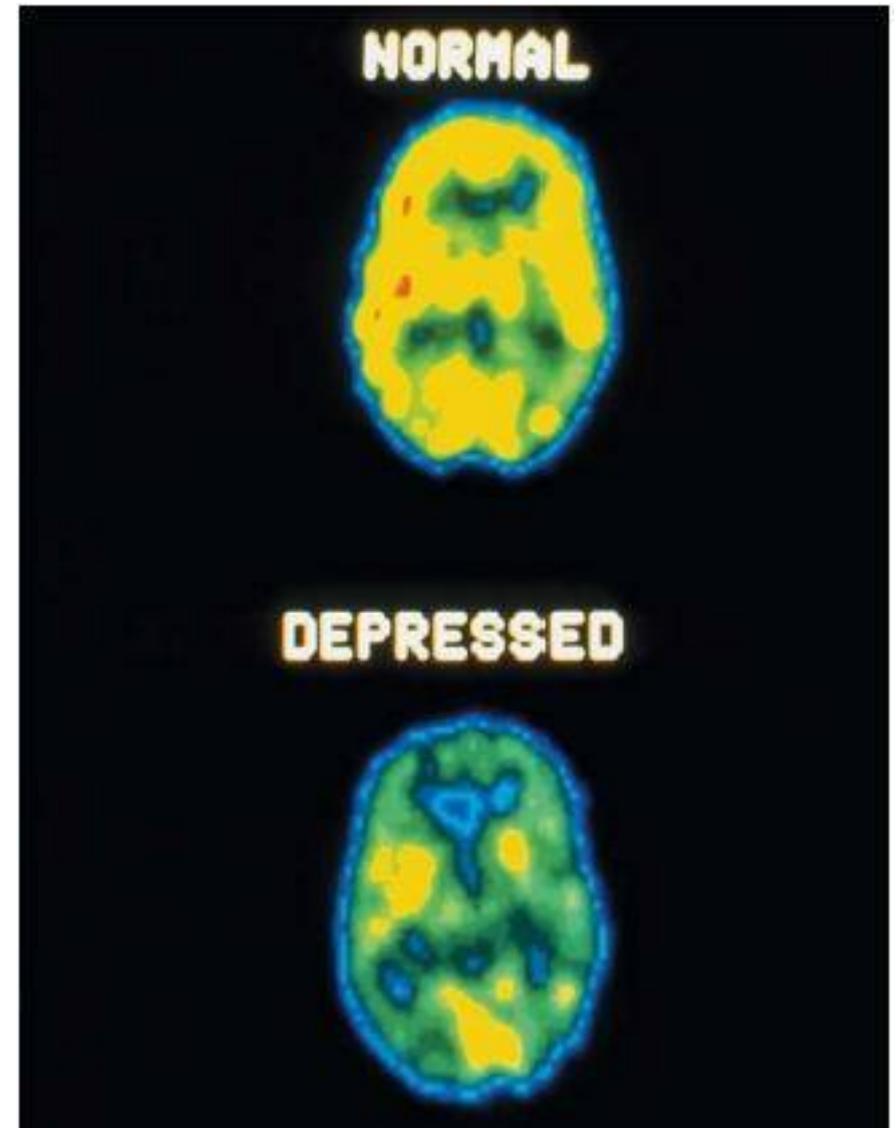
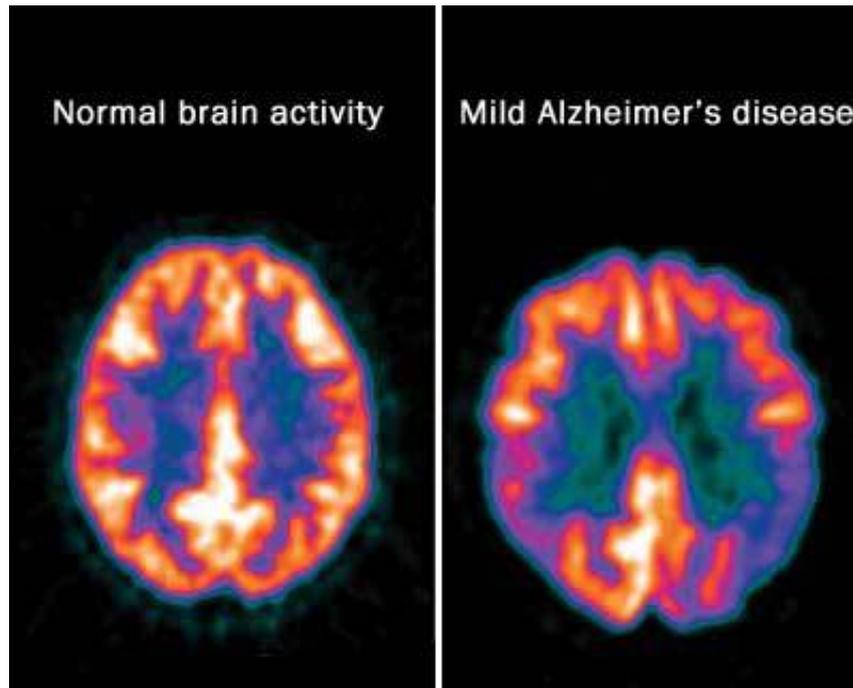


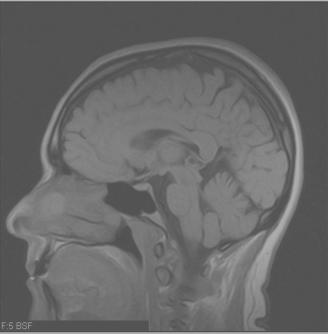
Imagen médica multimodalidad

Estructural

TAC



Resonancia magnética

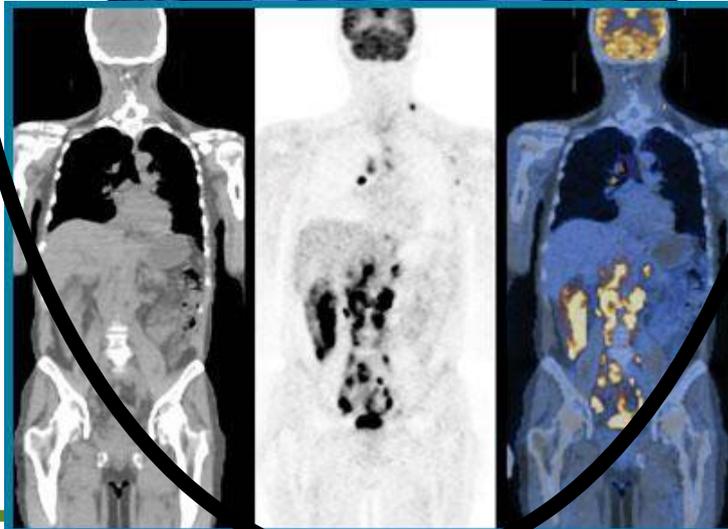


Ecografía



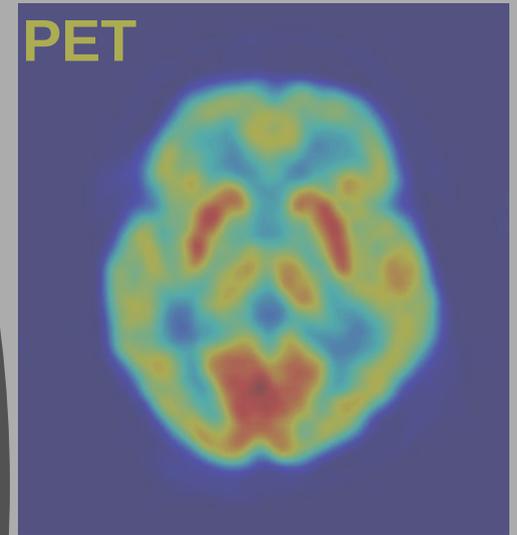
Multimodalidad

PET-TAC



Funcional

PET



SPECT



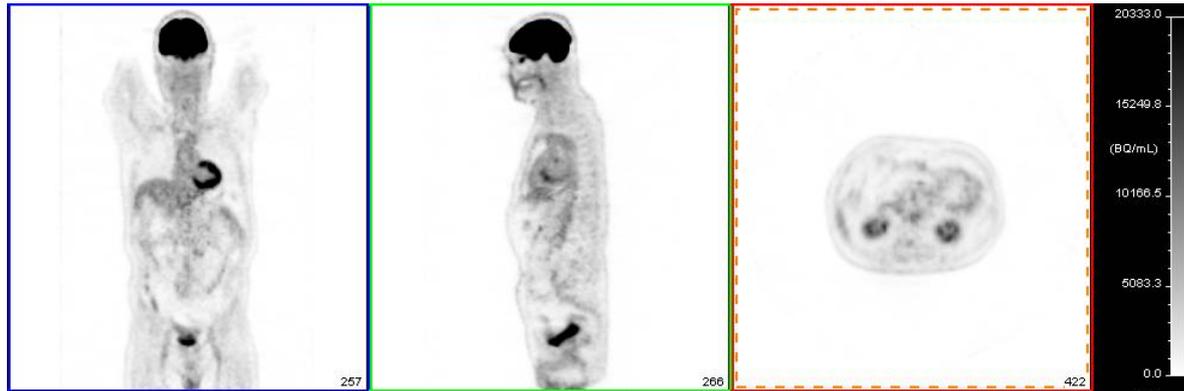
Multimodalidad

- **Combina imágenes de dos tipos. En general estructurales y funcionales**
- **Casi todos los hospitales compran ahora PET-TAC.**
- **En el futuro PET-MR**
 - **Aún en desarrollo**
 - **Prototipos en estudios clínicos**
 - **Mucha mejor resolución**
 - **Posibilidad de ver los tejidos blandos**



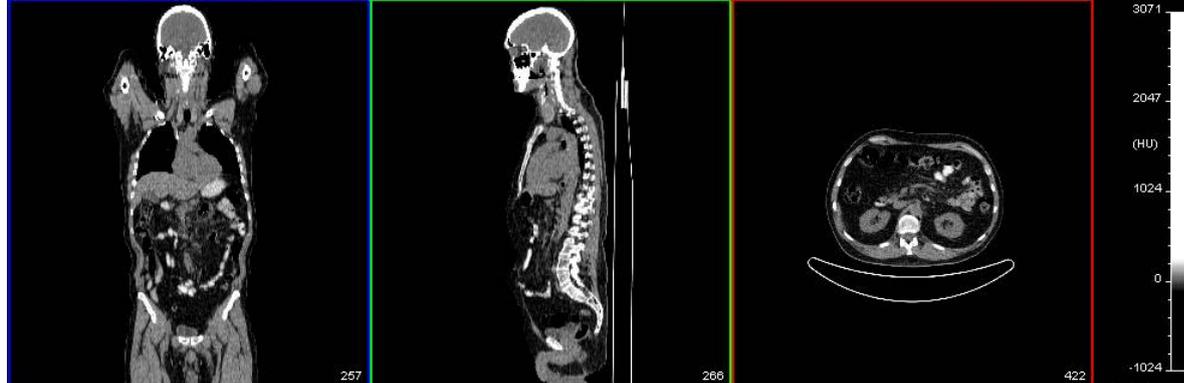
Multimodalidad

PET



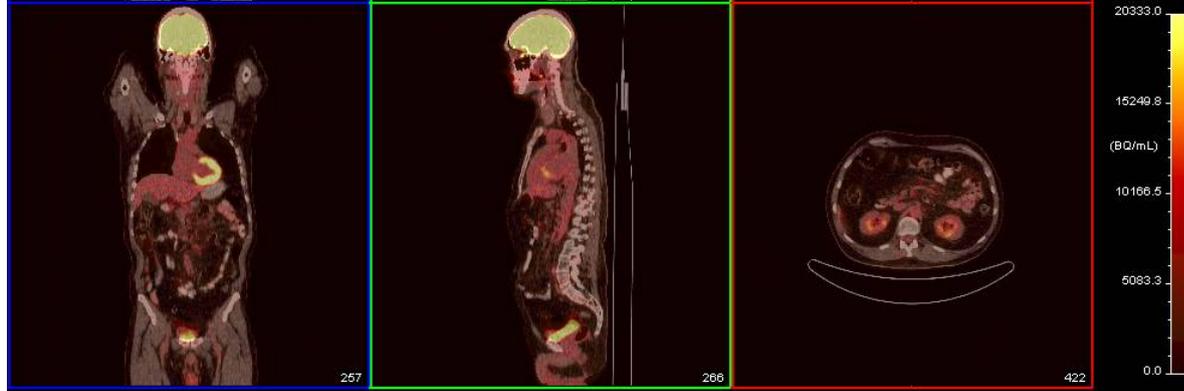
**información
funcional**

TAC



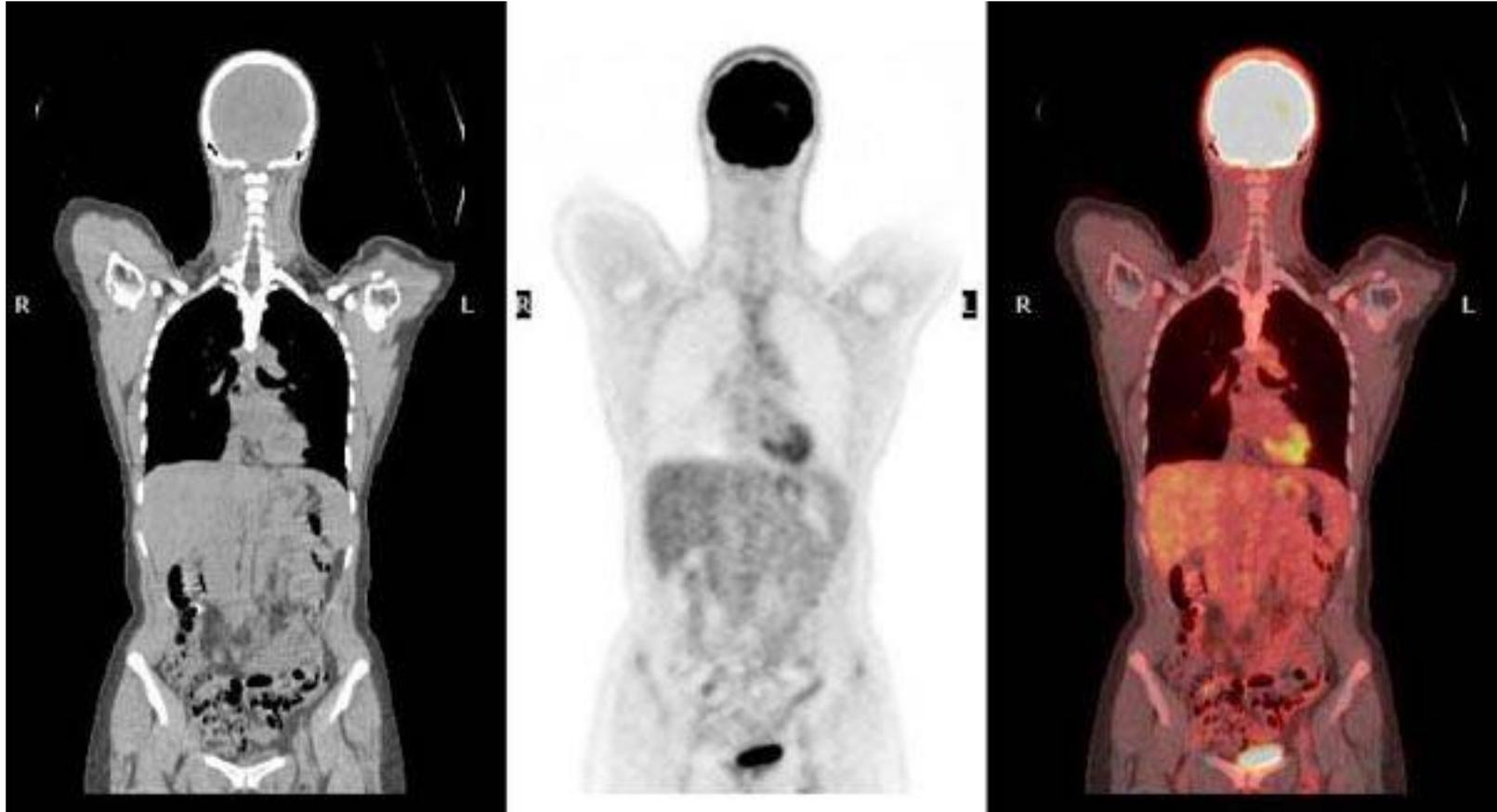
**información
anat6mica**

**PET
+
TAC**



**información
anat6mica
y
funcional**

Multimodalidad

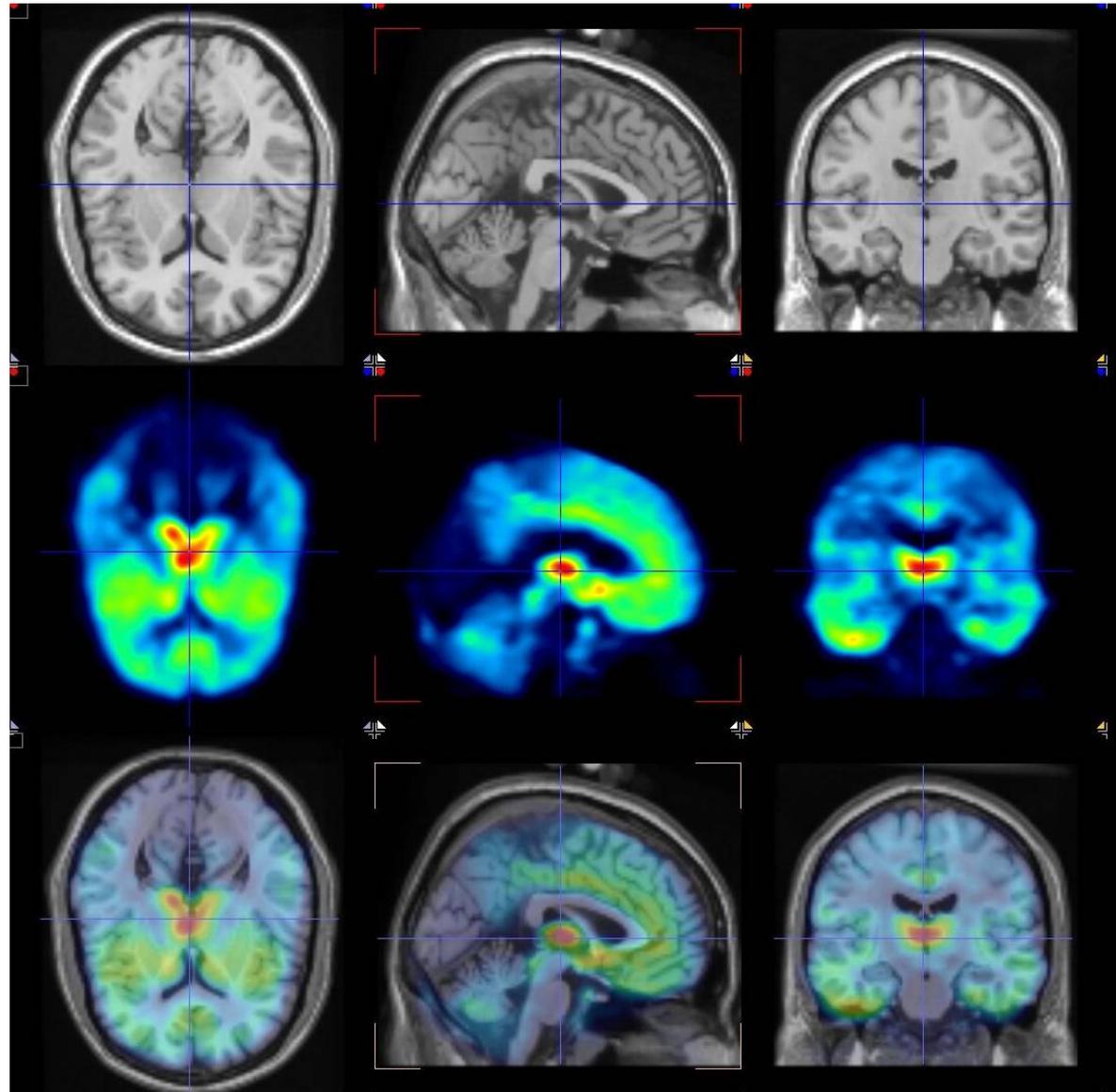


Multimodalidad

RM:
anatomía

PET:
función

RM + PET:
información
funcional
y anatómica

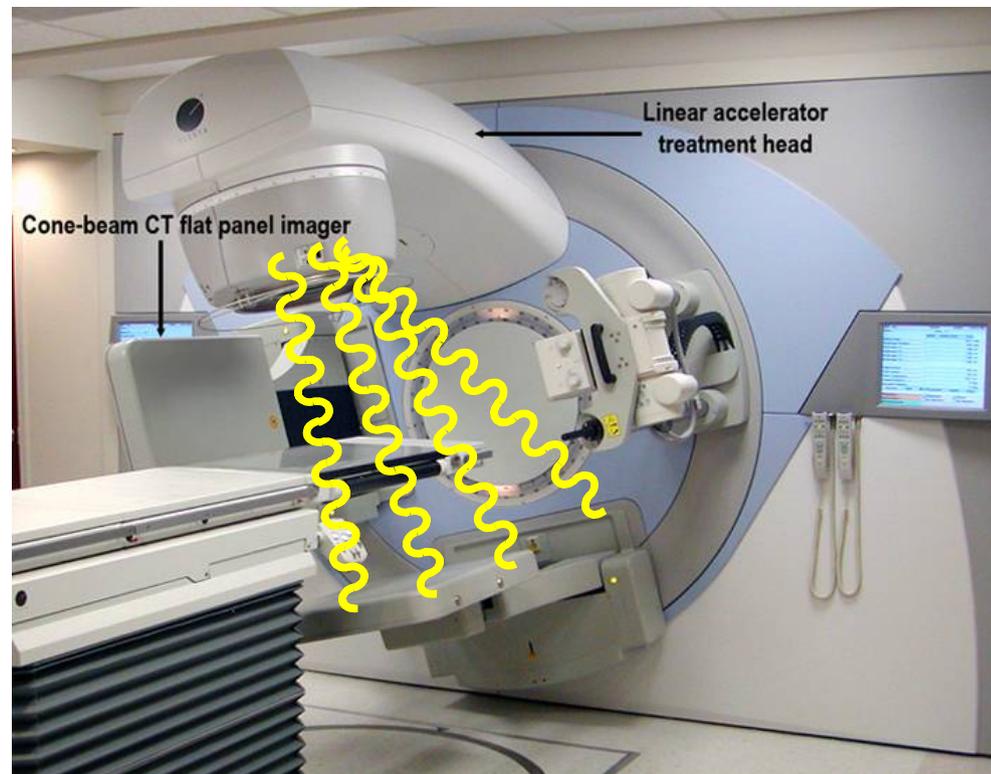


Radioterapia y terapia hadrónica



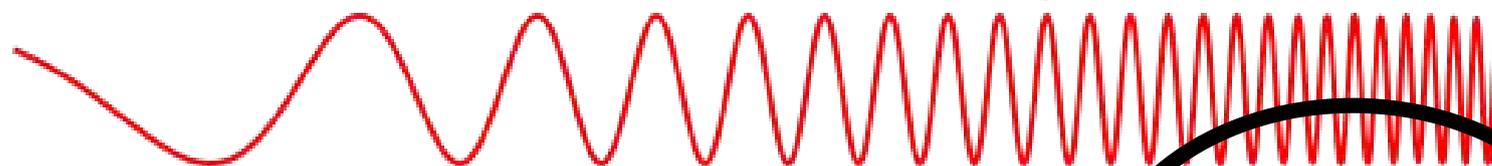
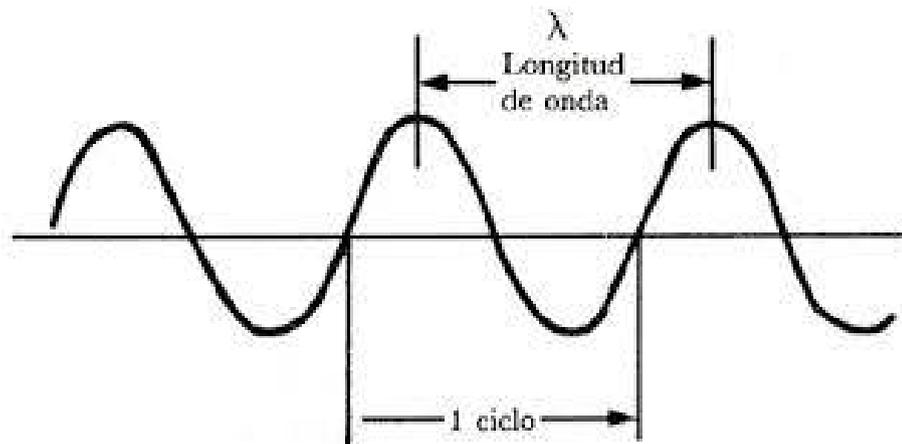
Radioterapia

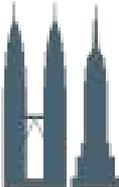
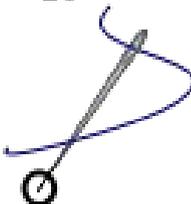
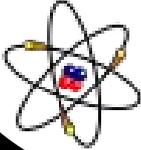
- La radiación destruye el tejido.
 - Enfocada al tejido canceroso.
 - El tejido sano tiene mayor capacidad de recuperación.

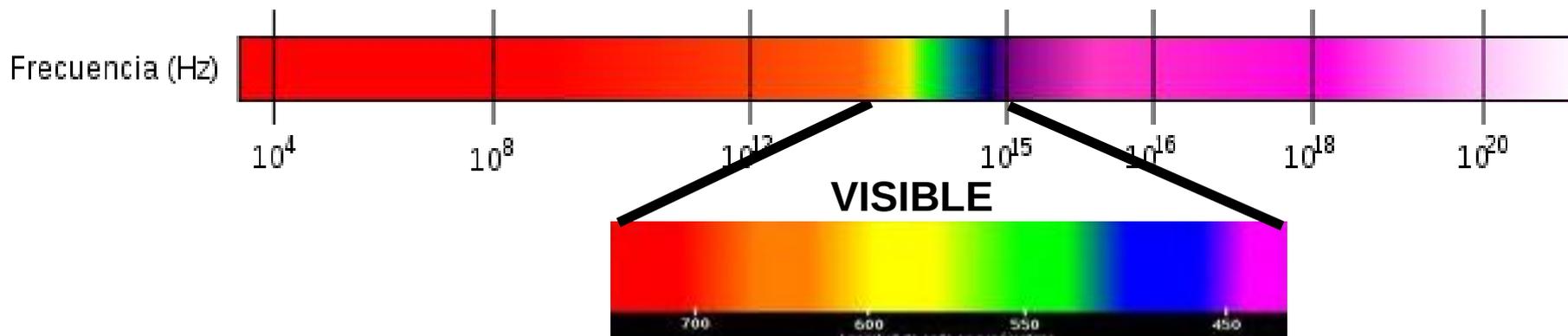
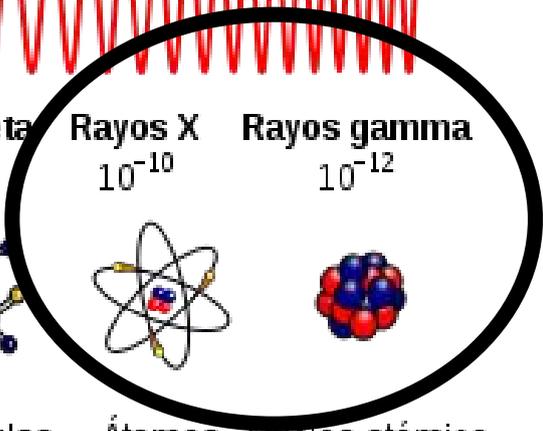


Fotones

- Tratamiento de radioterapia



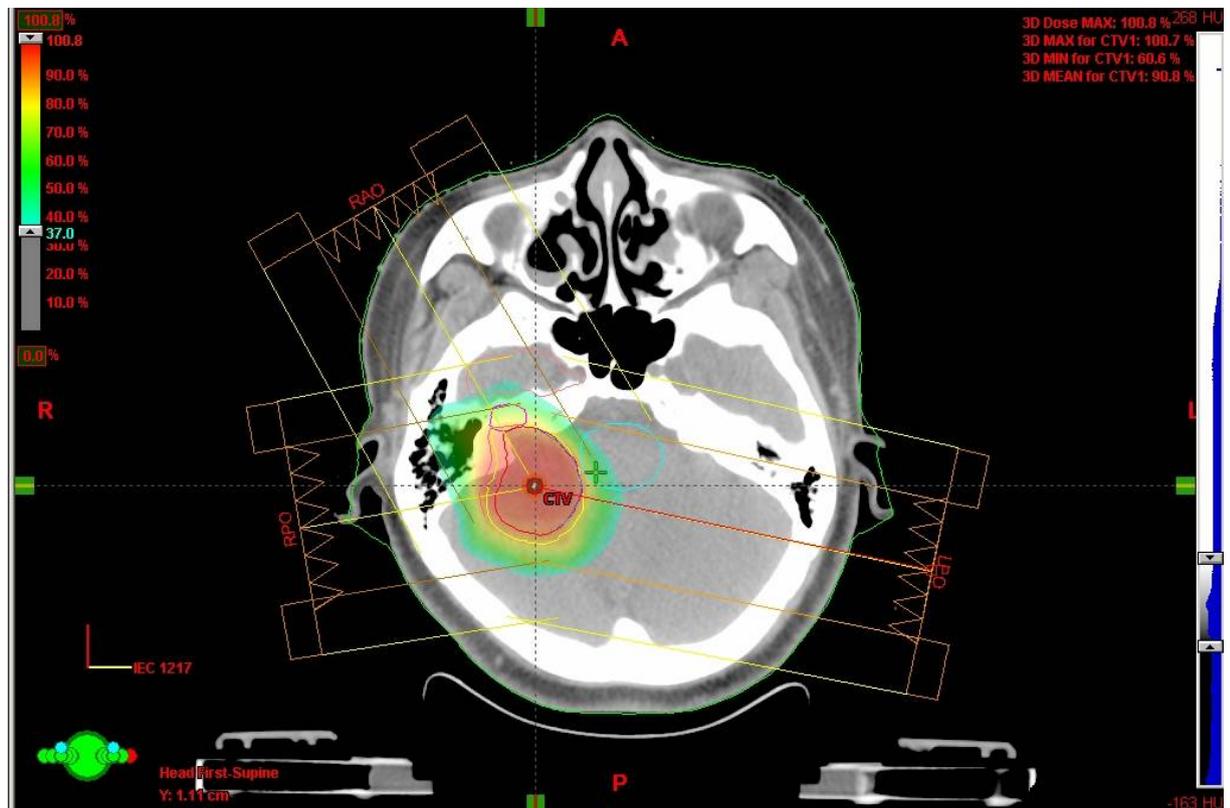
Tipo de radiación	Radio	Microondas	Infrarrojo	Visible	Ultravioleta	Rayos X	Rayos gamma	
Longitud de onda (m)	10^3	10^{-2}	10^{-5}	$0,5 \times 10^{-6}$	10^{-8}	10^{-10}	10^{-12}	
Escala aproximada de la longitud de onda								
	Edificios	Humanos	Mariposas	Punta de aguja	Protozoos	Moléculas	Átomos	Núcleo atómico



Radioterapia

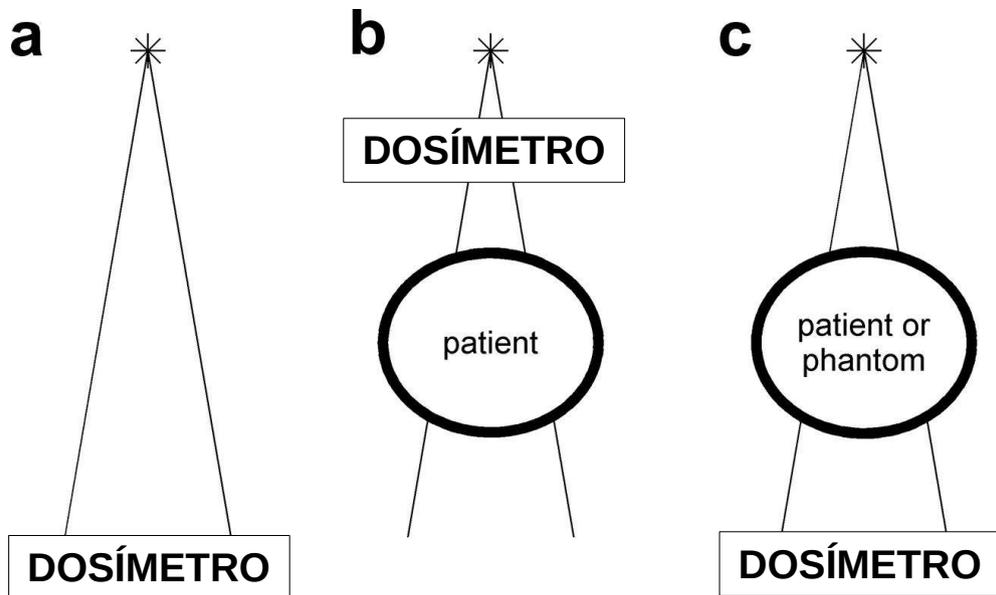
- **Planificación:** Los radiofísicos en los hospitales estudian la mejor forma de irradiar el tumor evitando dañar el tejido sano. El médico decide.
- Se basan en imágenes previamente adquiridas para saber donde está.

Existen técnicas para ajustar la radiación al tumor.



Radioterapia

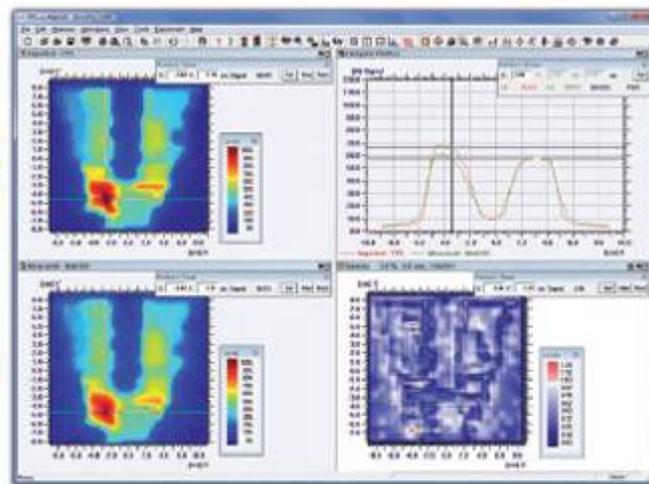
- Dosimetría para ver la dosis administrada.



STEP 1
TPS import

STEP 2
Measurement

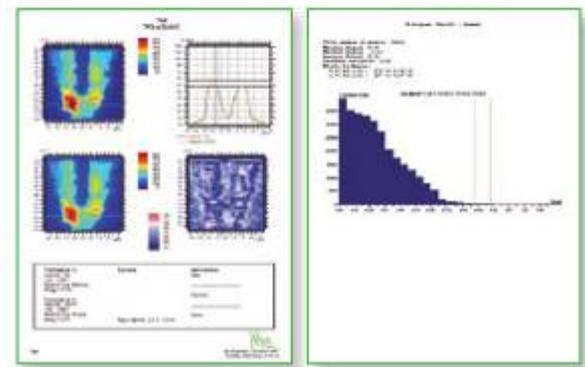
- iTru77 MatrOx
- MatrOx²Endura
- Film
- EPID



STEP 3
Visual comparison

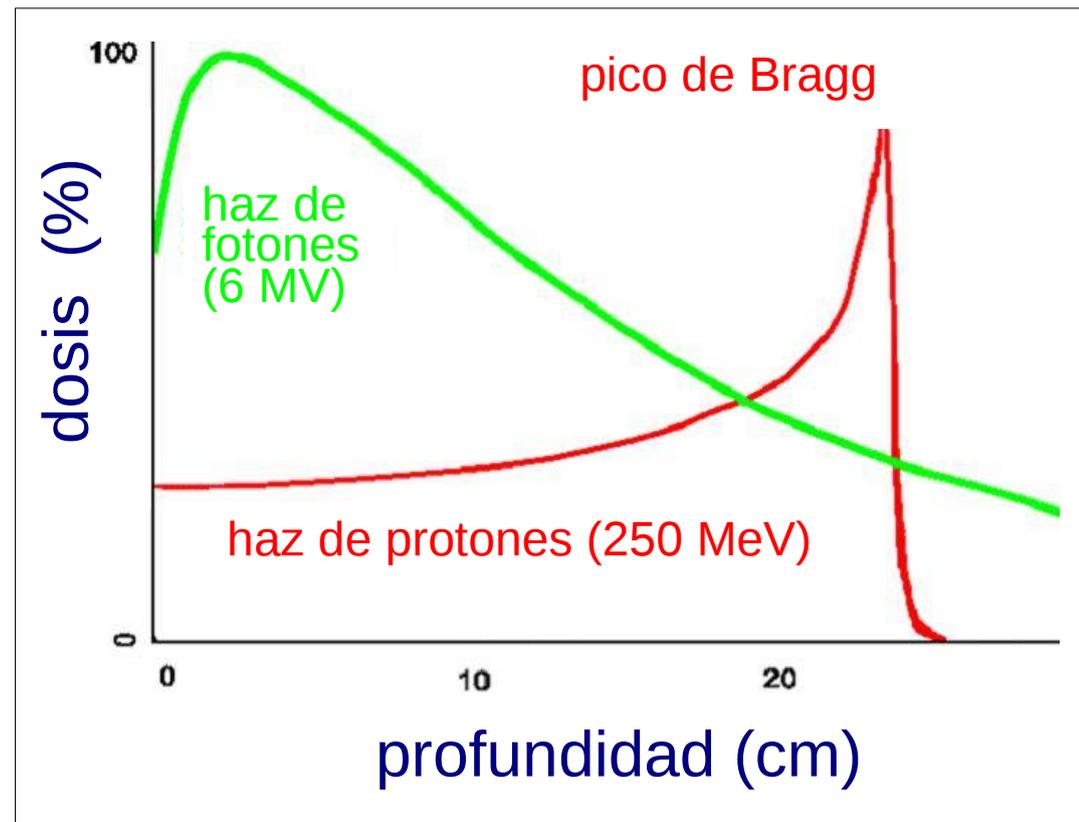
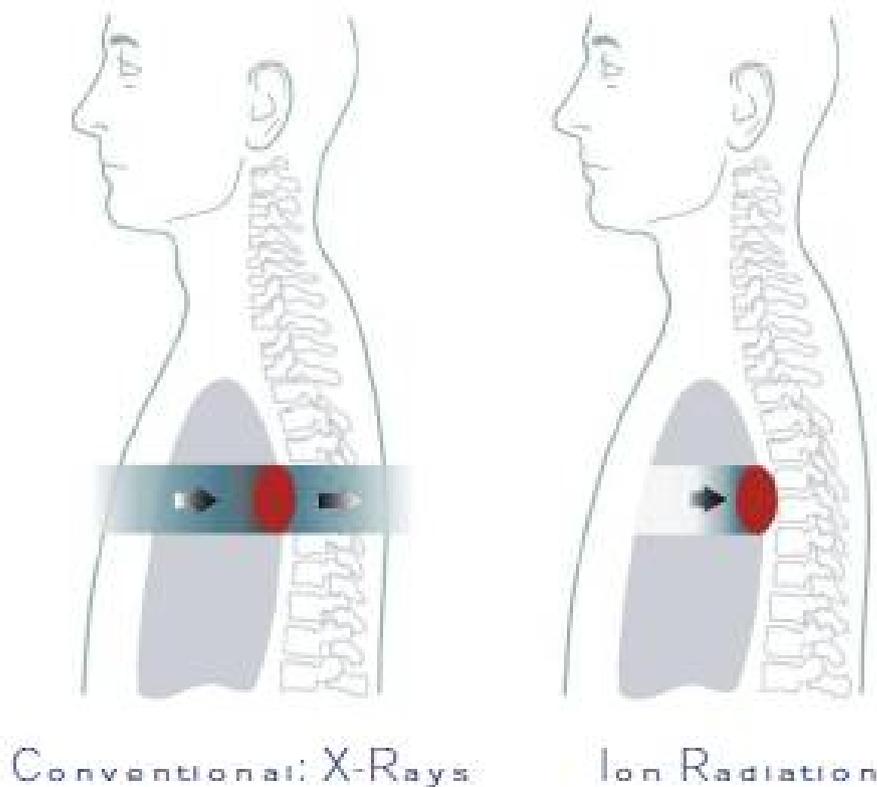
Mathematical analysis

STEP 4
Archive, Report, Export



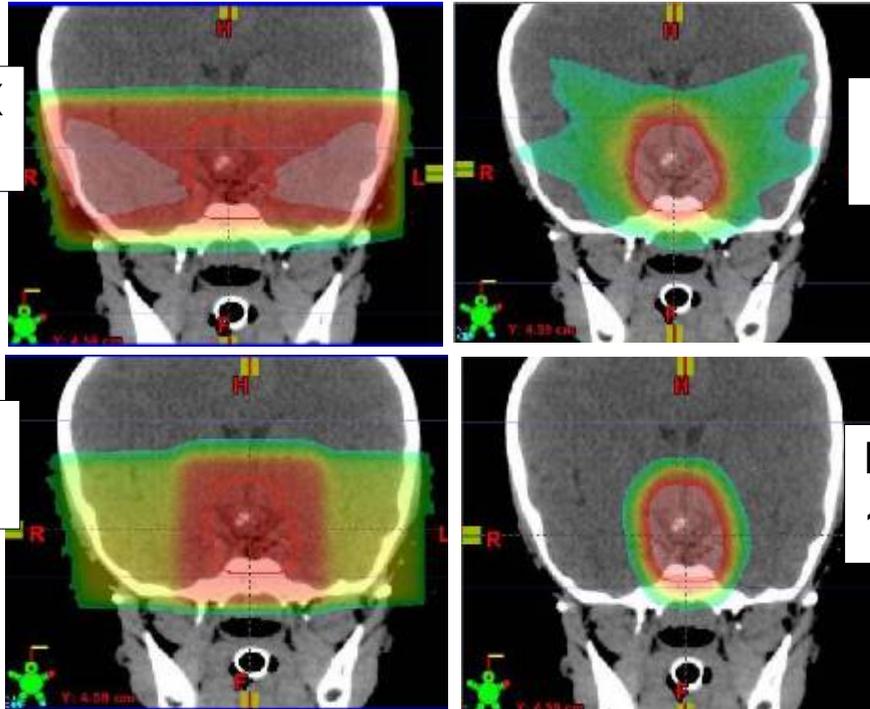
Terapia hadrónica o Hadronterapia

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



Terapia hadrónica

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

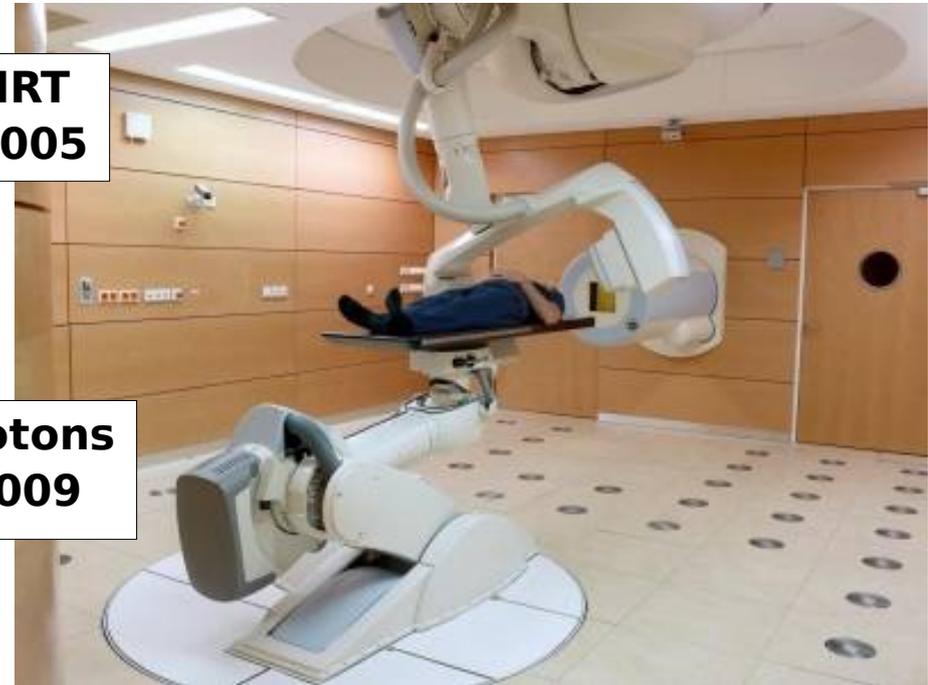


**Opp 6X
~1980**

**IMRT
~2005**

**3-Field
~1990**

**Protons
~2009**



- **Muy ventajosa** en algunos tipos de tumores (ojo, próstata, cerebro, niños...)

Terapia hadrónica

- Técnica más compleja. Necesita un centro especial con un acelerador. Más cara.
- Numerosos centros en todo el mundo.



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

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

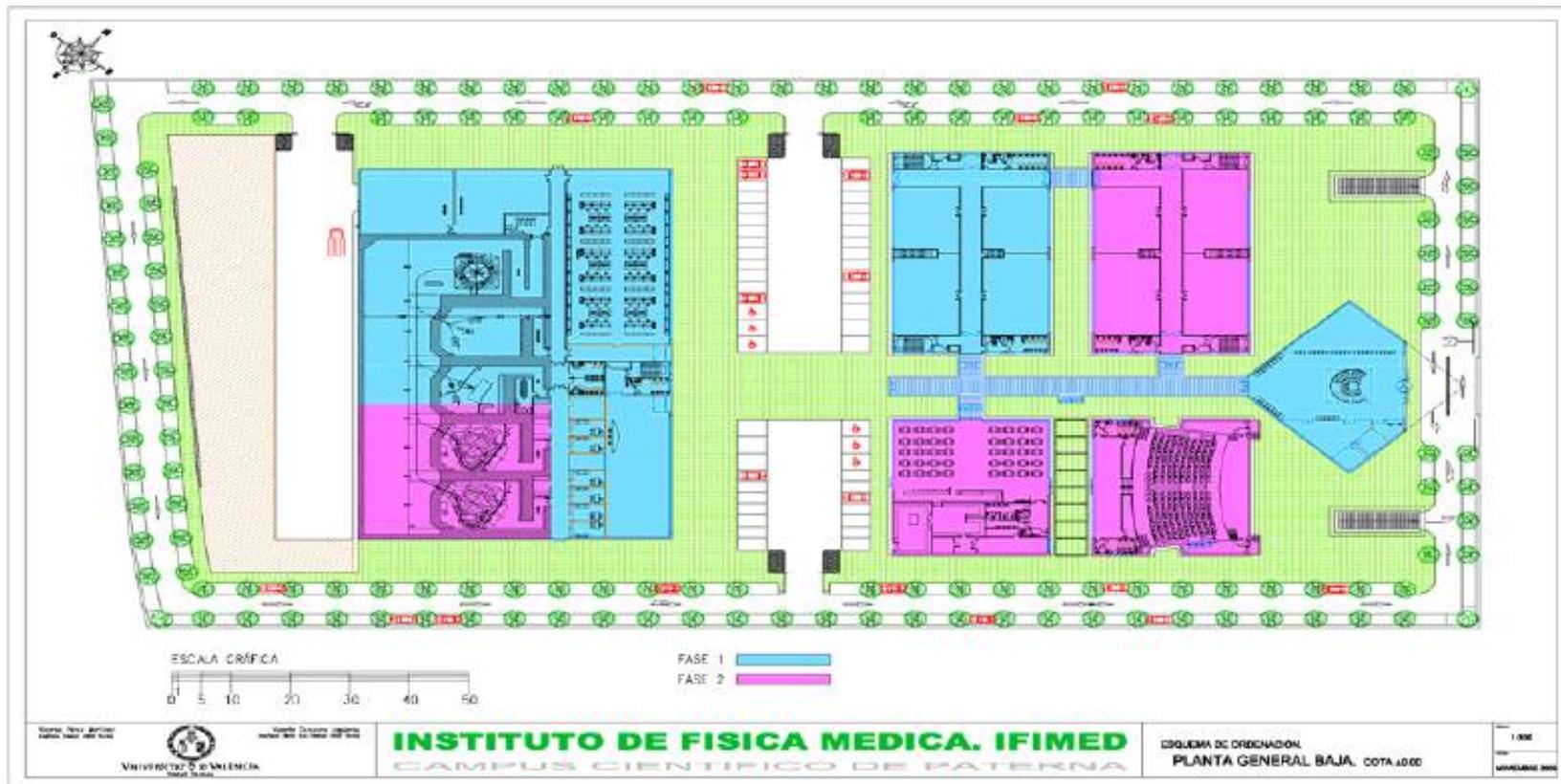


Terapia hadrónica en Valencia

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

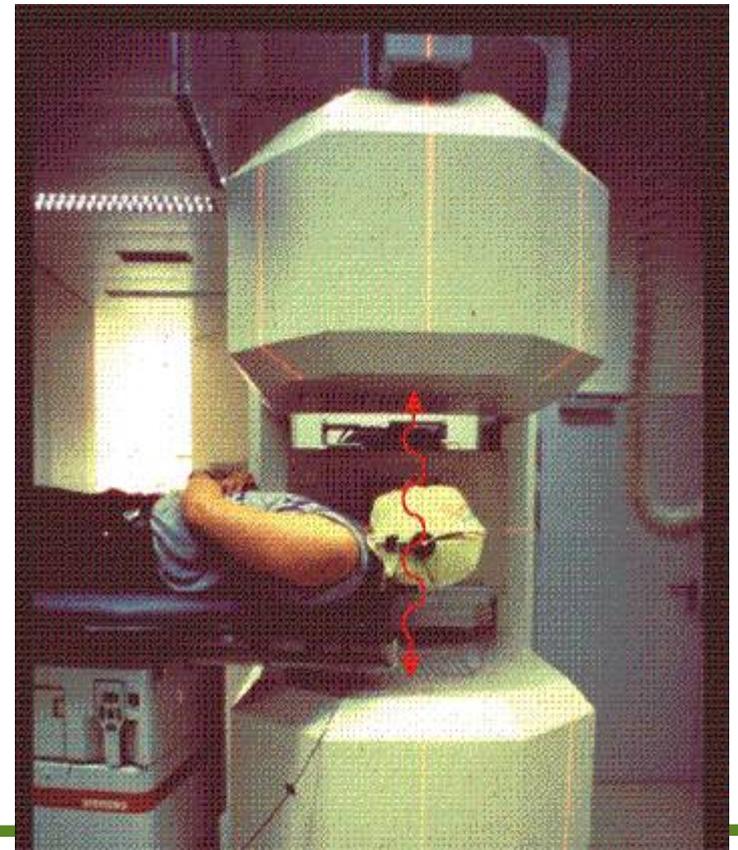
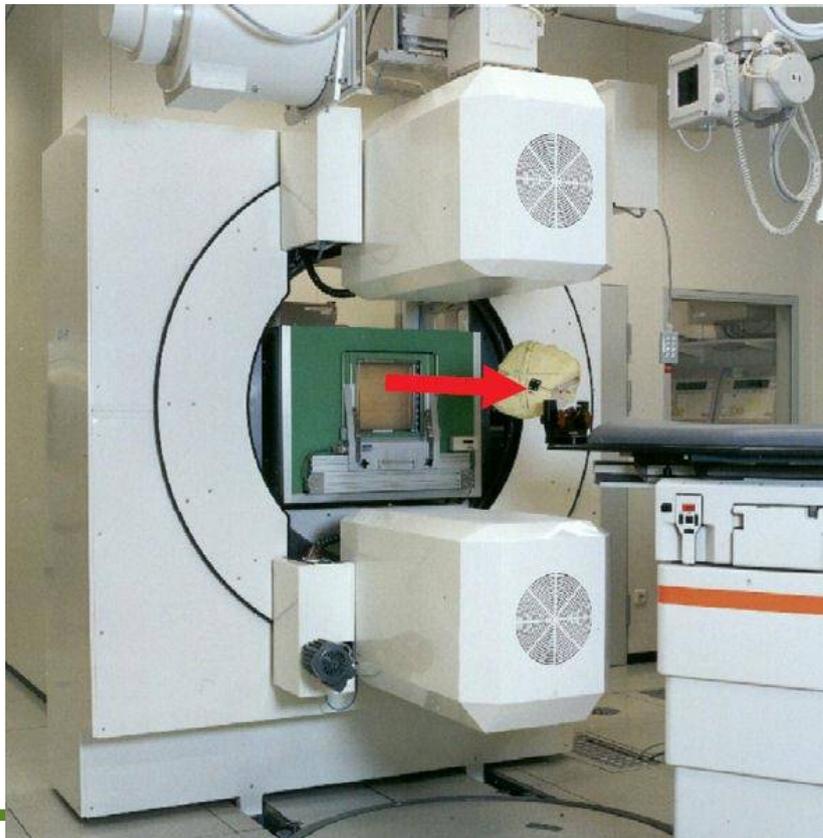


<http://ific.uv.es/ifimed/>



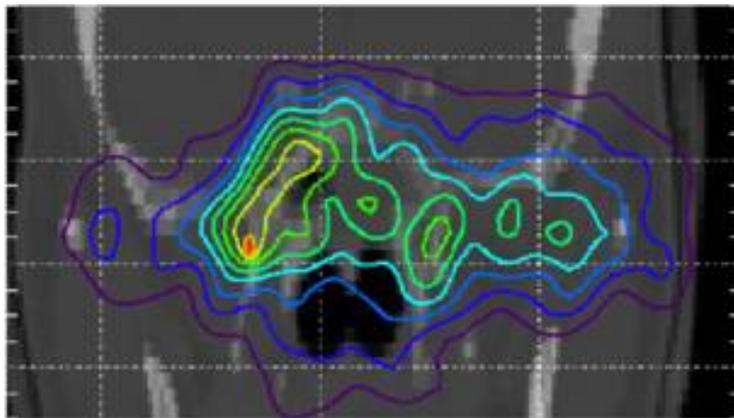
Monitorización de la terapia hadrónica

- 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.

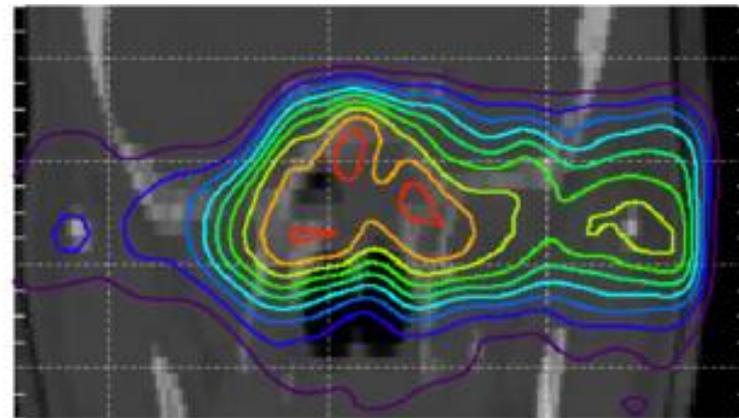


Monitorización con PET

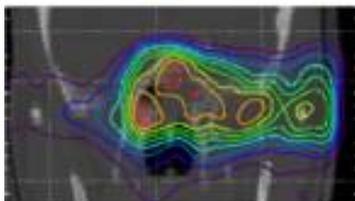
- No se inyecta un radiofármaco, se usan los positrones creados en el tejido al ser irradiado.
- Se hace una planificación de la terapia, y una simulación, y se comparan los resultados.



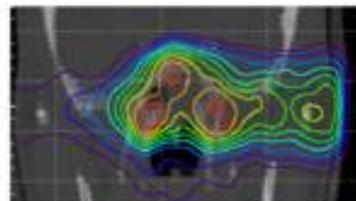
(a) Measurement



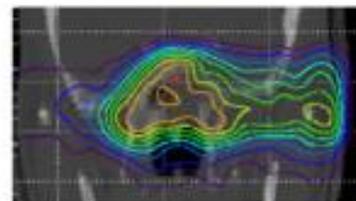
(b) Simulation



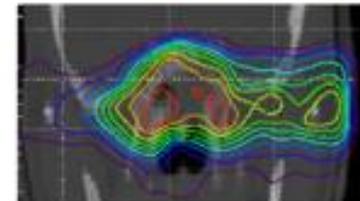
(c) -6 ES



(d) -4 ES



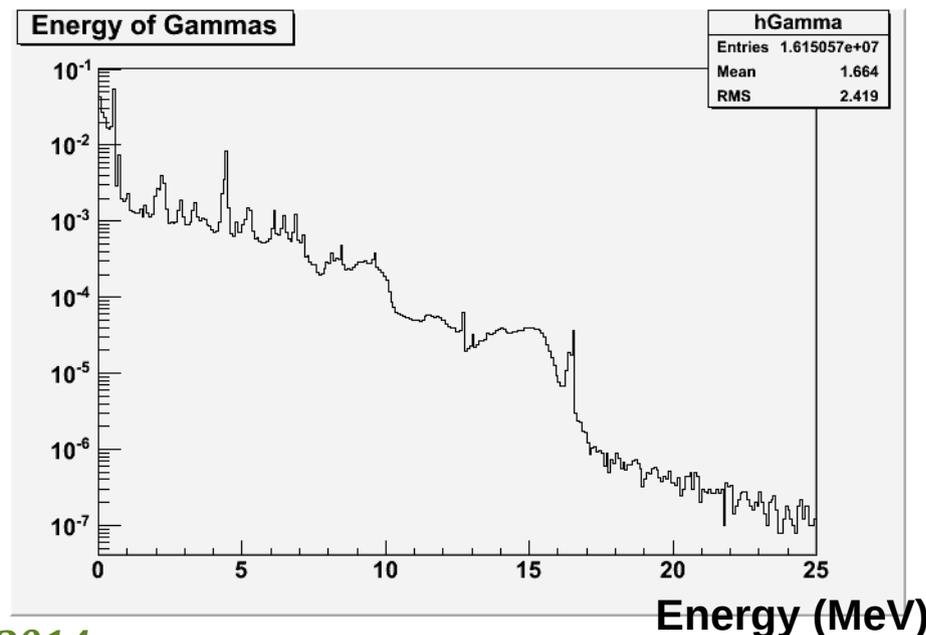
(e) +4 ES



(f) +6 ES

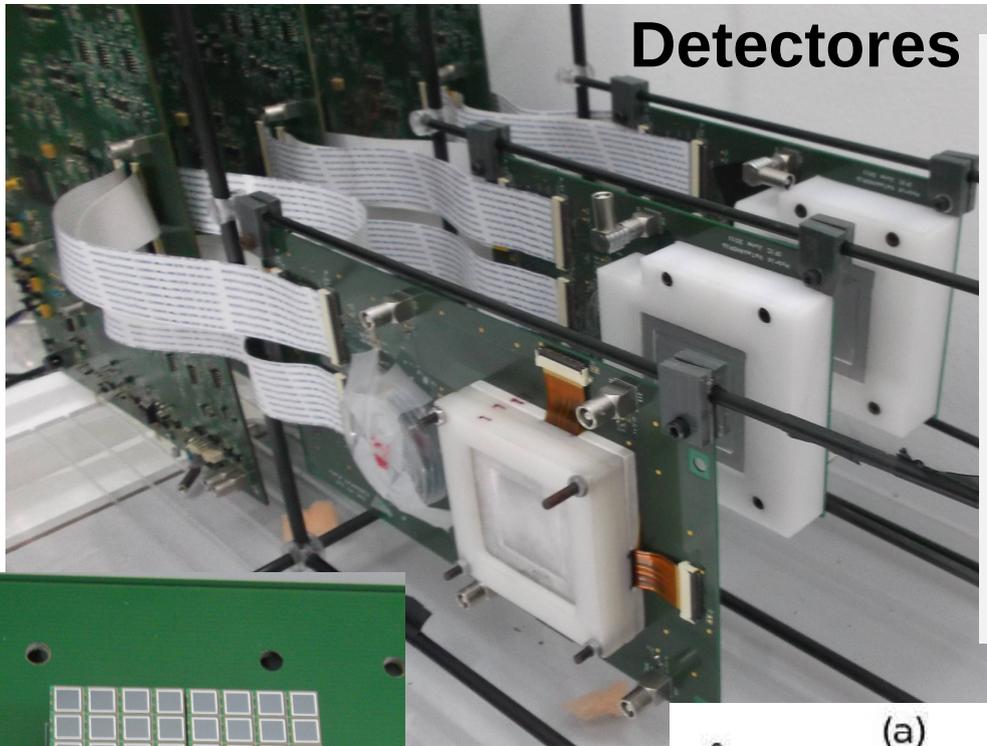
Alternativas

- 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.

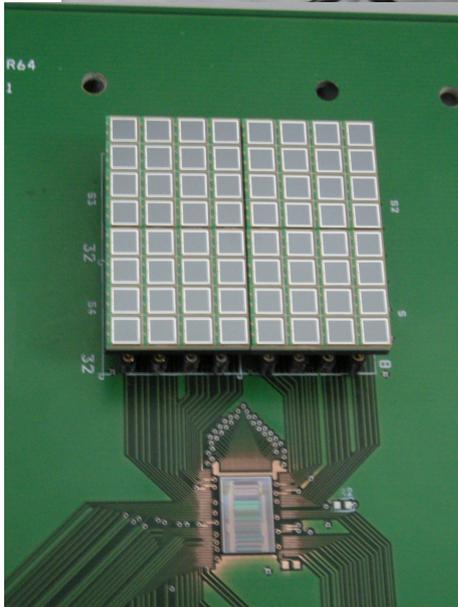
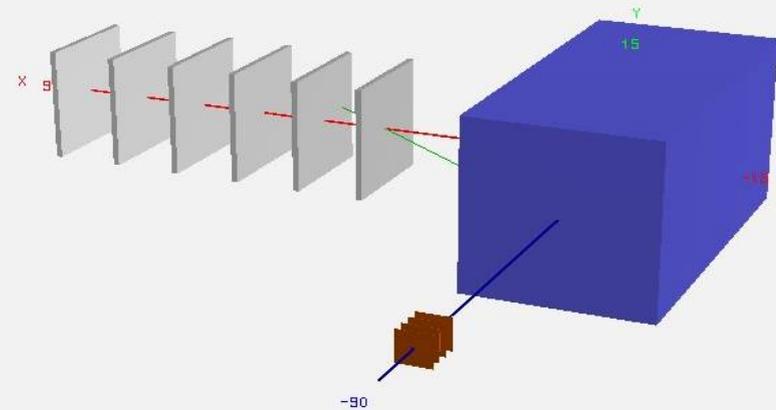


Investigación en el IFIC

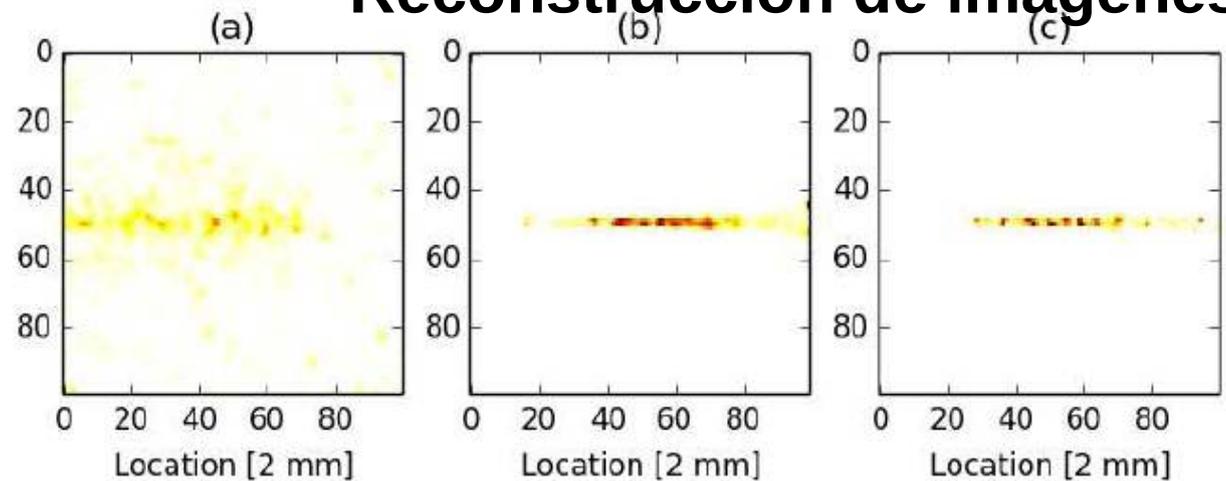
- Proyecto ENVISION - Monitorización con PET y fotones



Simulaciones

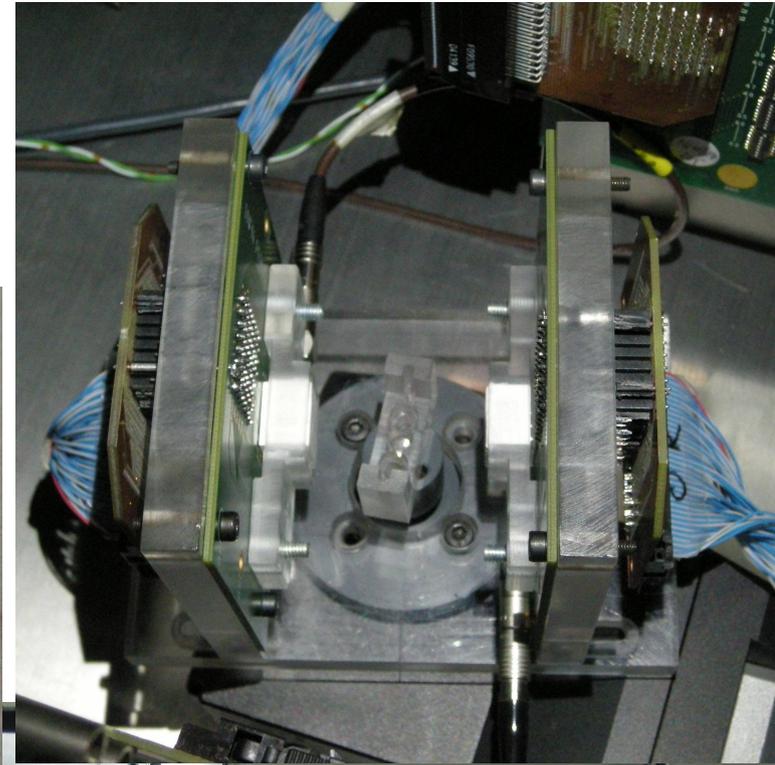
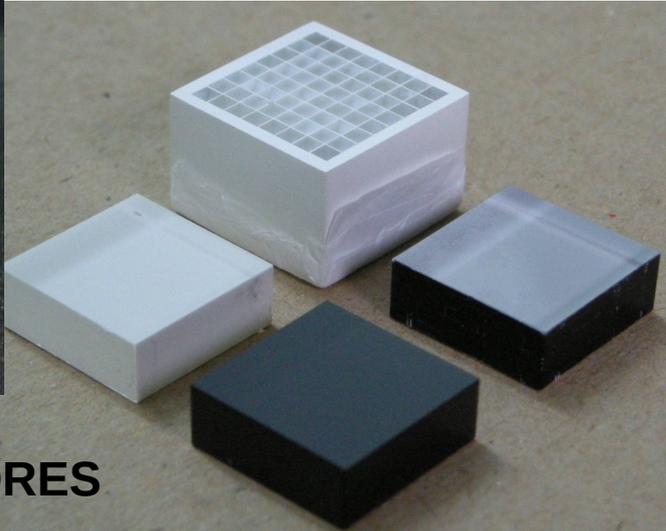
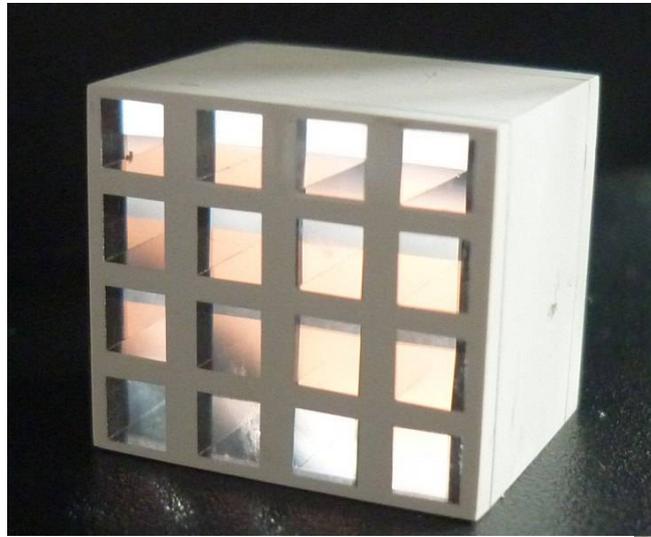


Reconstrucción de imágenes

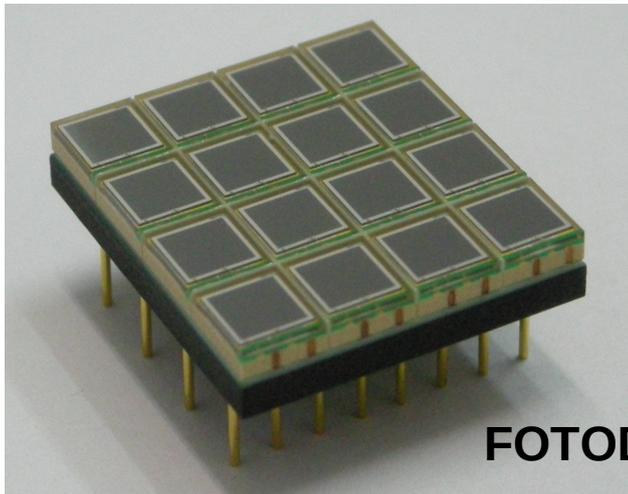


Investigación en el IFIC

Desarrollo de detectores para PET



CRISTALES CENTELLEADORES



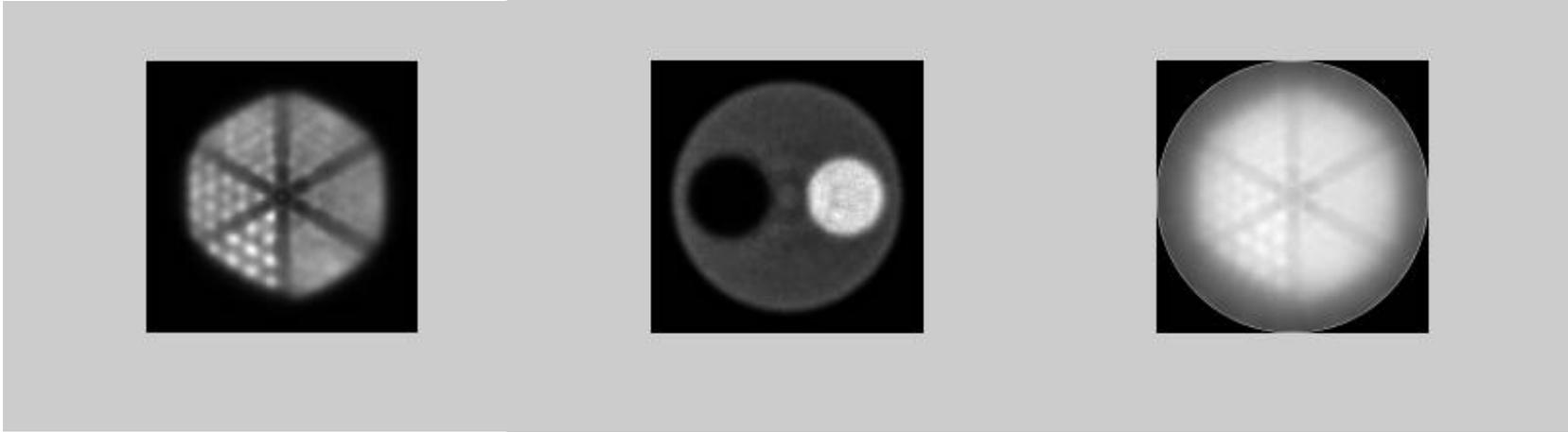
FOTODETECTORES



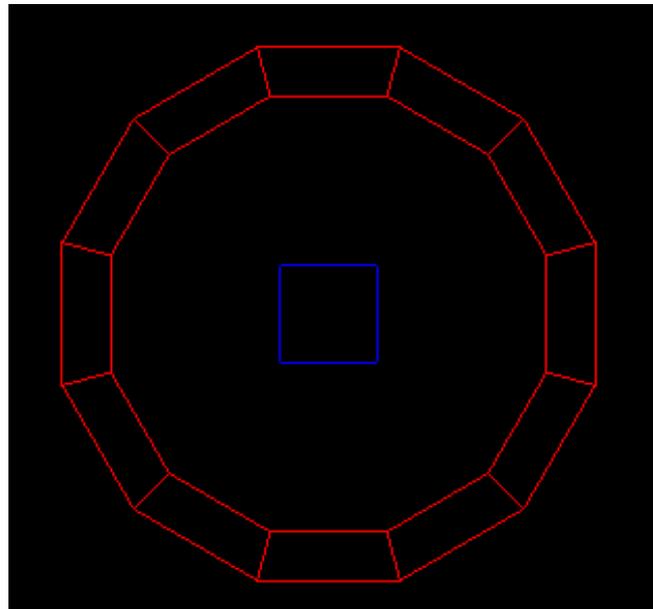
ELECTRÓNICA DE LECTURA

Investigación en el IFIC

Reconstrucción de imágenes



Simulaciones



Conclusiones

- **La física médica constituye un apoyo esencial en medicina, que aumenta al mejorar las tecnologías.**
- **Es un campo de investigación muy interesante, 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!!!

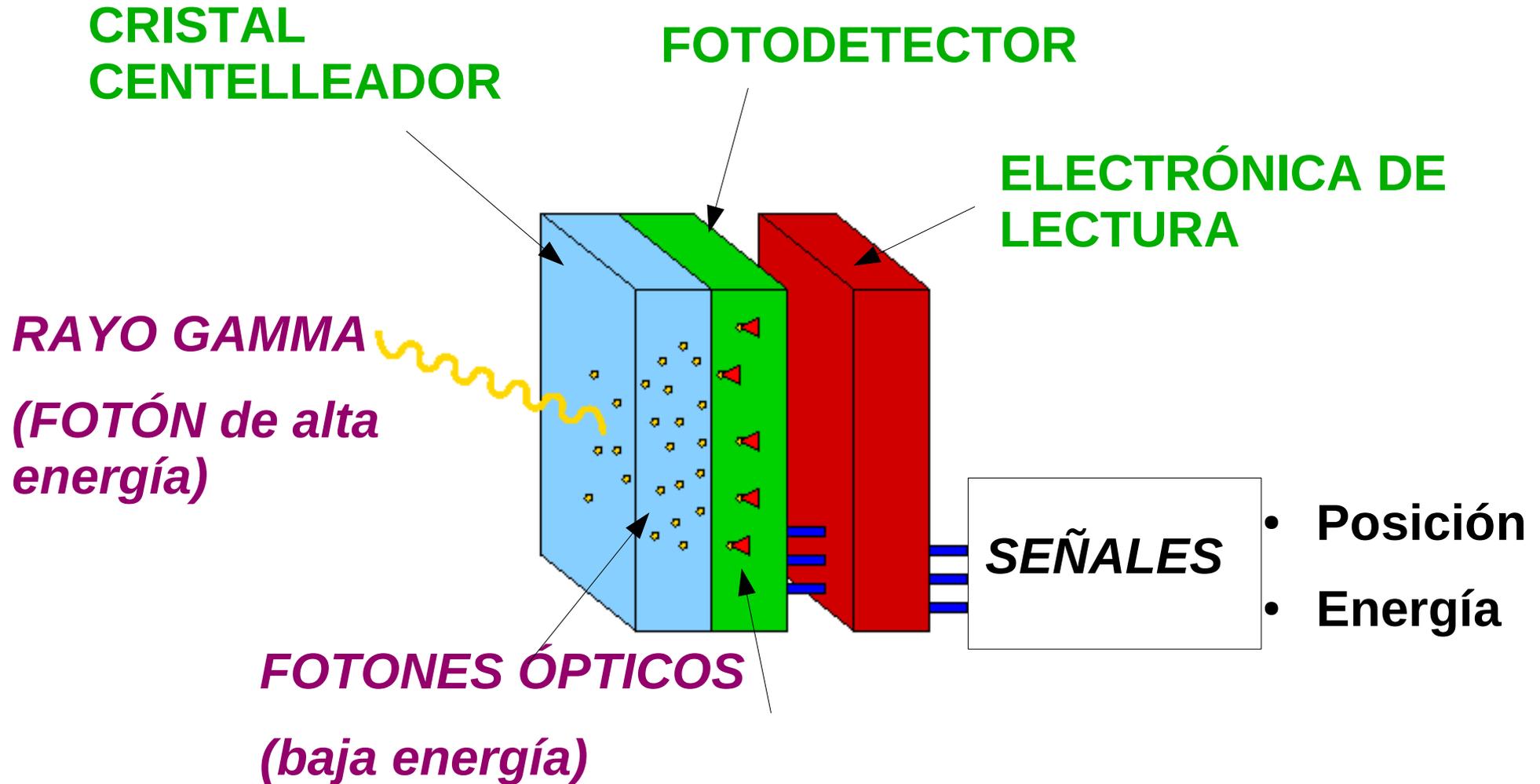
Agradecimientos

- **Contrato Junta Ampliación de Estudios (JAE DOC) del CSIC cofinanciado por el fondo social europeo..**
- **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 (FPA2010-14891, FIS2011-14585-E)**
- **Generalitat Valenciana (GV/2013/133), Universitat de València (UV-INV-PRECOMP12-80755)**



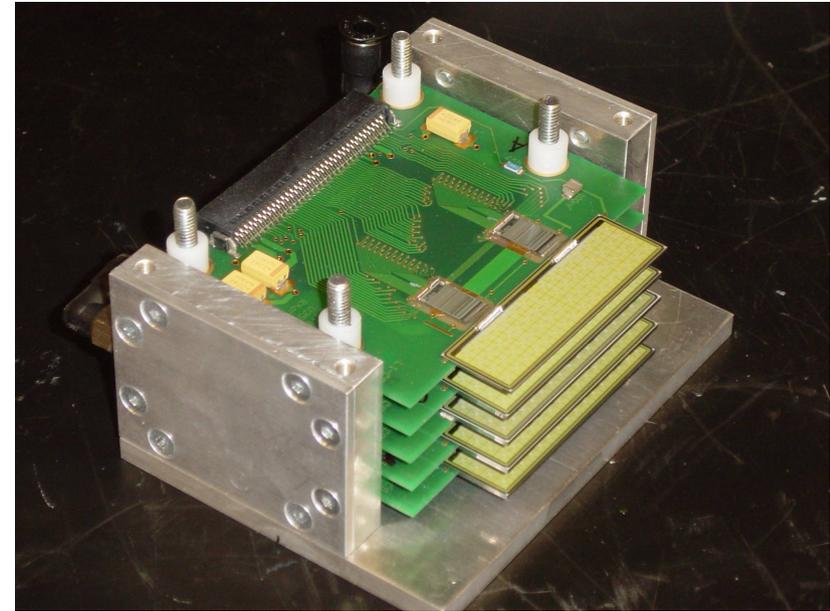
Detectores

Cómo funciona un detector?



Detectores

- **Cómo se puede mejorar?**
 - **Mejores cristales**
 - **Mejores fotodetectores**
 - **Electrónica más rápida**
 - **Otros tipos de detectores**



DETECTORES DE SILICIO

