



Imágenes diagnósticas

Dr. Víctor Manuel Lara Camacho
Físico-médico.

Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez.
Unidad PET/CT, Facultad de Medicina, UNAM.

Internacional Masterclass on Particle Therapy, Virtual. Ciudad de México, 14-15 de Marzo de 2024.

Contenido

Introducción – Historia

Átomo e ionización

Espectro electromagnético

Radiación ionizante

Física médica

Medicina nuclear

Tomografía computada por emisión de fotón único (SPECT)

Tomografía por emisión de positrones (PET)

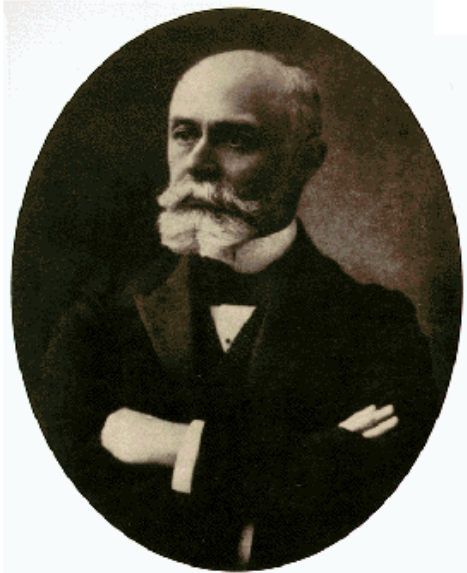
Descubrimiento de la radiación

Primera radiografía



W. Roentgen descubre los rayos-X en 1895 (premio Nobel de física, 1901)

Descubrimiento de la radiación



1896 Henri Becquerel
(Premio Nobel de física, 1903)



Observó los experimentos de
Roentgen



producir rayos X, pero con:

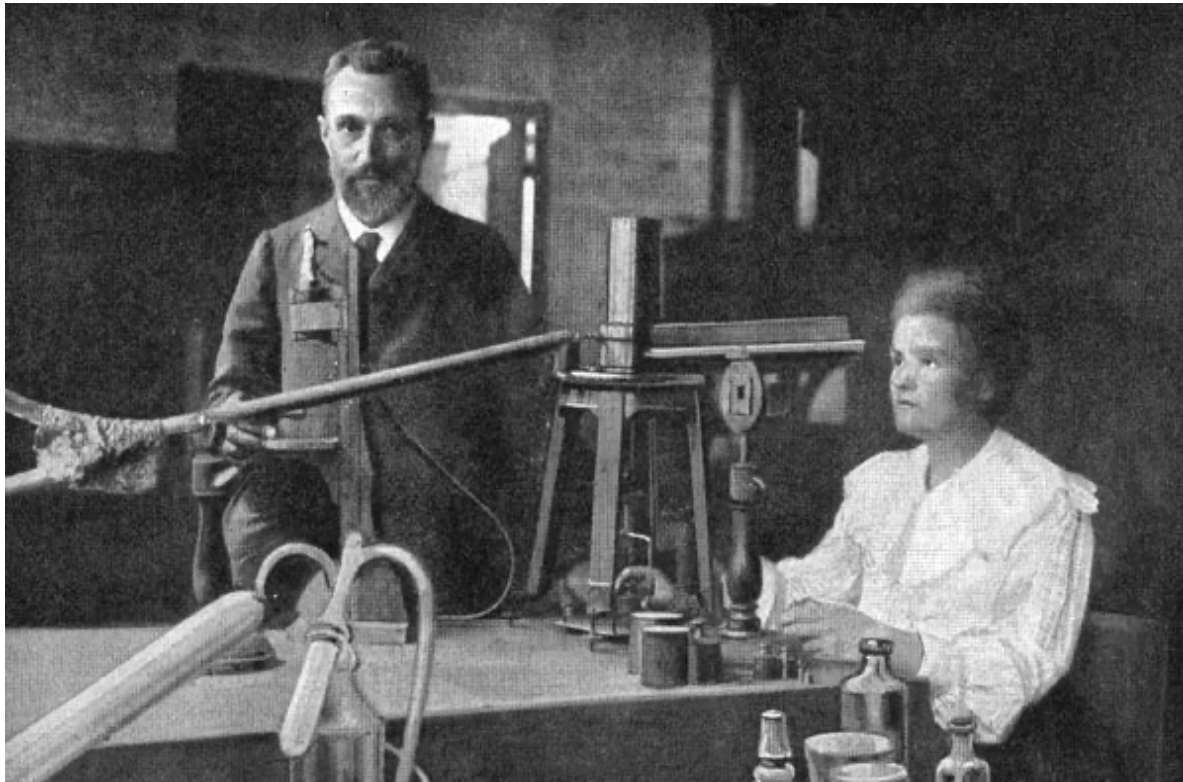


Sales de Uranio

Radiactividad



Descubrimiento de la radiación



Marie Curie y Pierre Curie trabajan sobre radiactividad a través de rocas de uranio (pechblenda)

Descubren el Ra y el Po

Premio Nobel de física (1903) y química (1911)

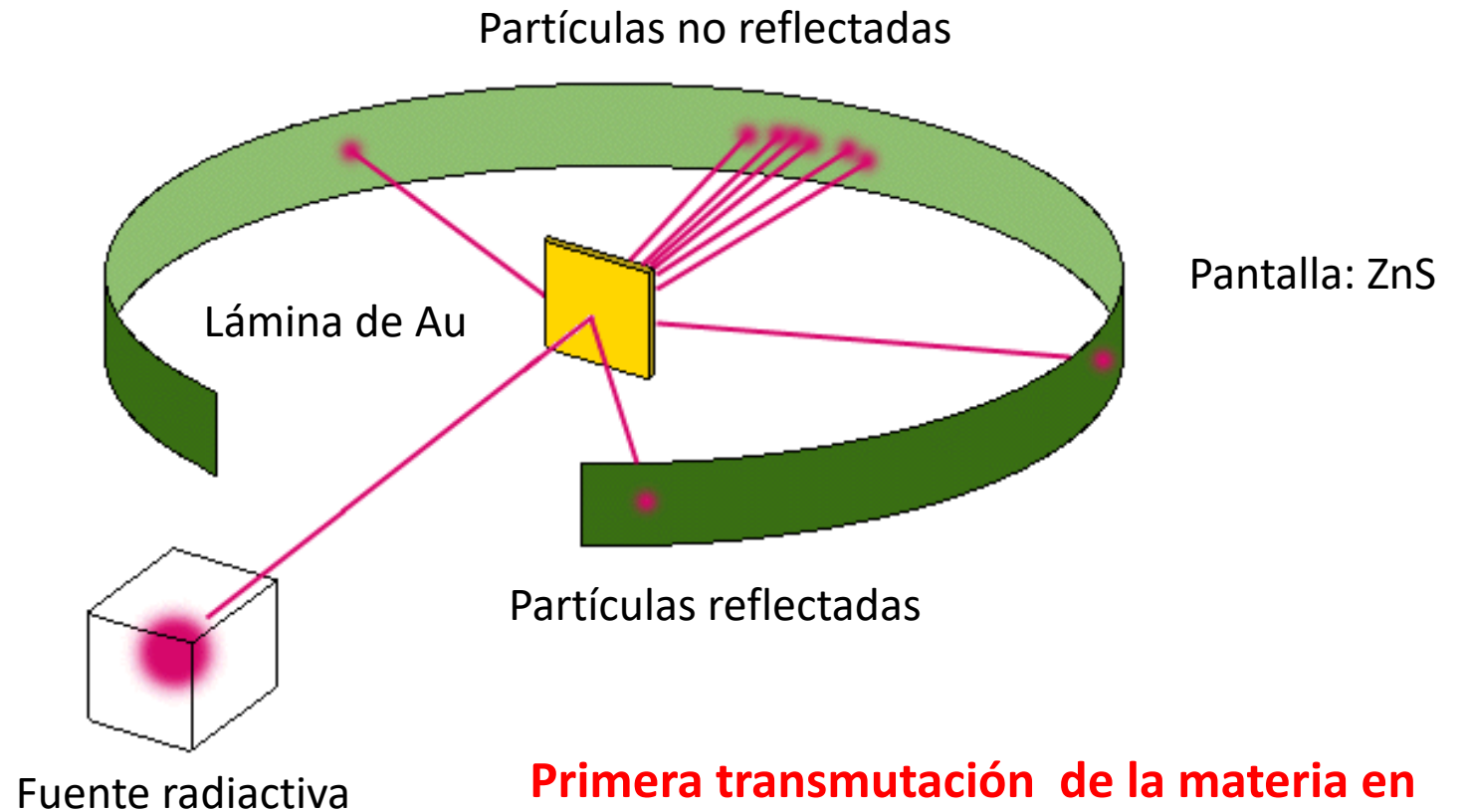
Posteriormente, aparecen las primeras aplicaciones de medicina usando radiación

Experimento de Rutherford



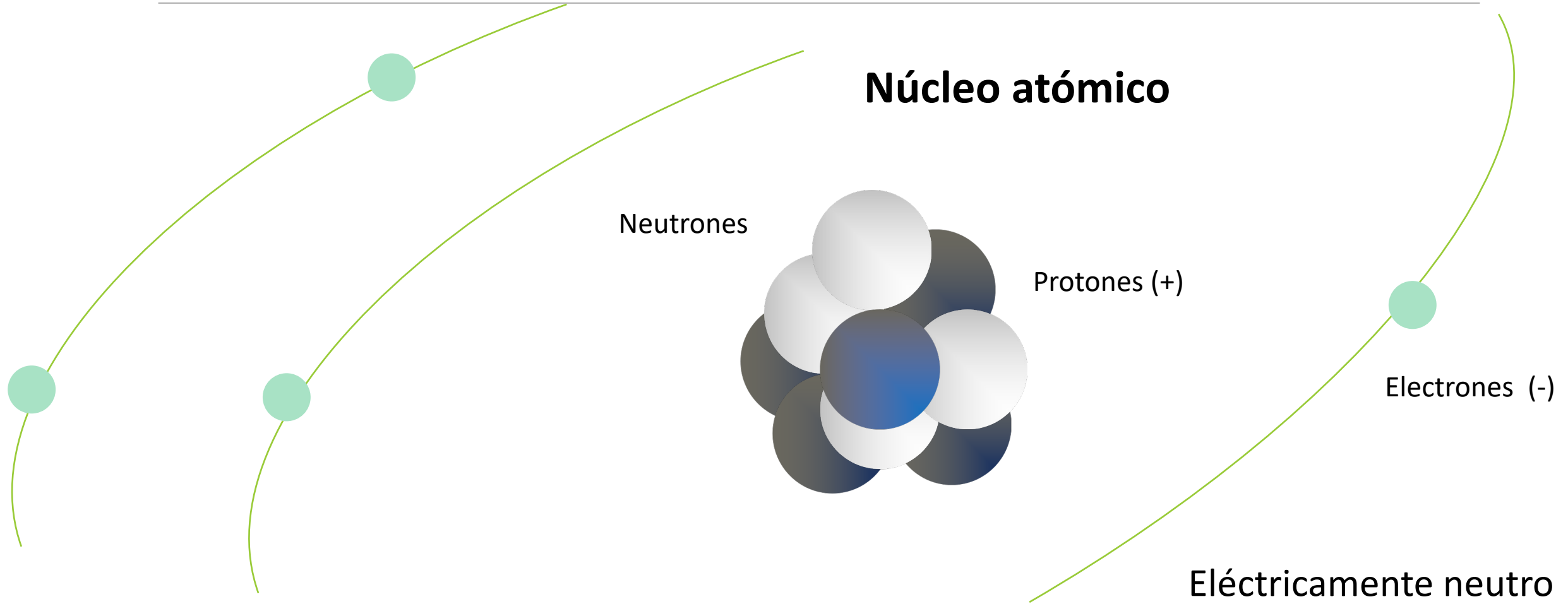
Átomo: núcleo positivo

Premio Nobel de química, 1908.



Primera transmutación de la materia en 1919 (Nitrógeno a Oxígeno)

Átomo



Núcleo atómico

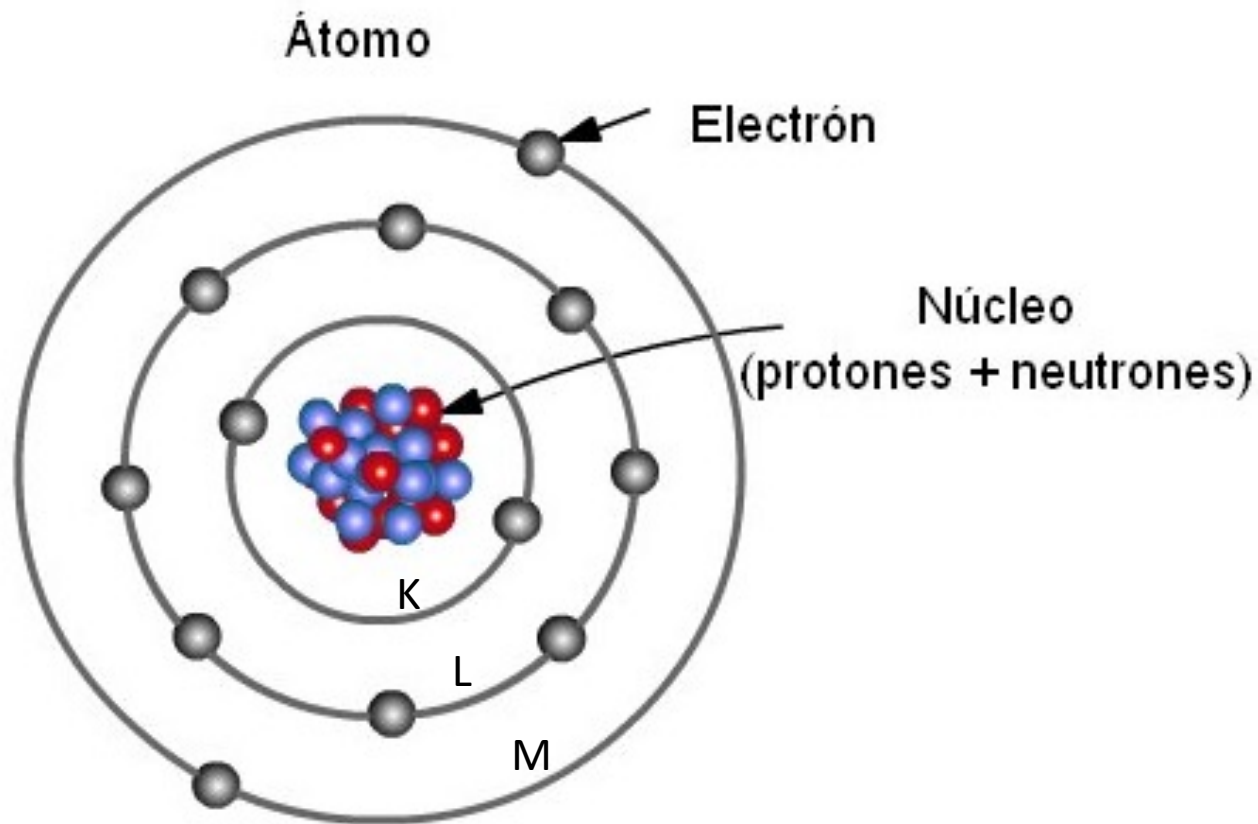
Neutrones

Protones (+)

Electrones (-)

Eléctricamente neutro

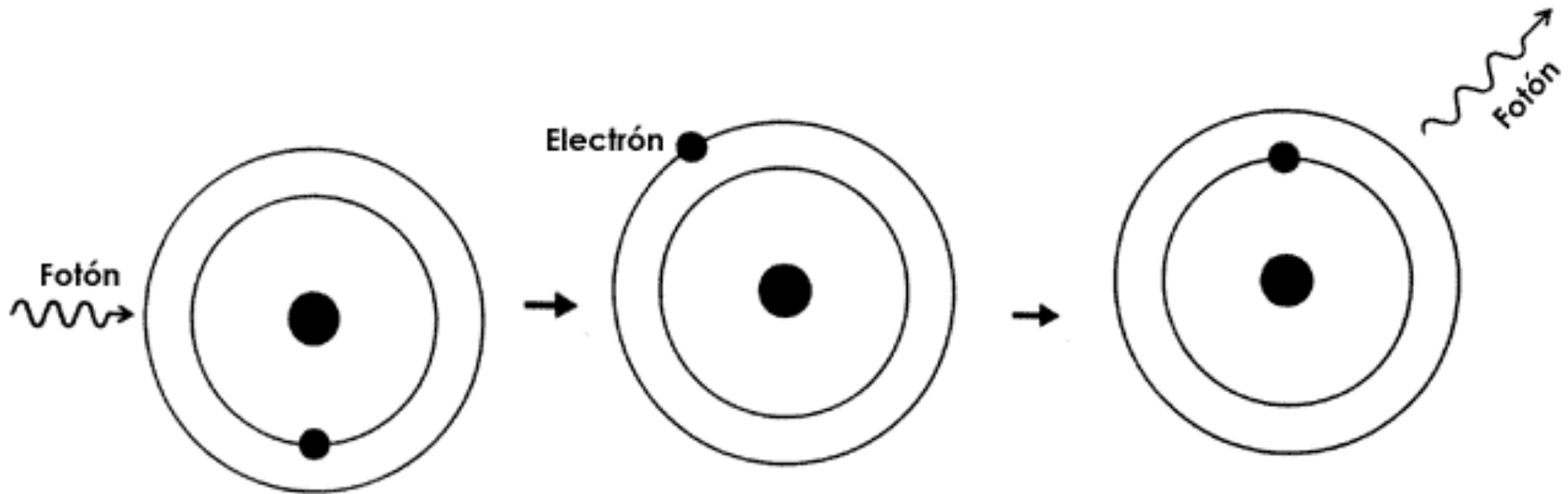
Capas electrónicas



Número de electrones:
 $2n^2$

Capa	Electrones
K (n=1)	2
L (n=2)	8
M (n=3)	18
N (n=4)	32

Excitación atómica

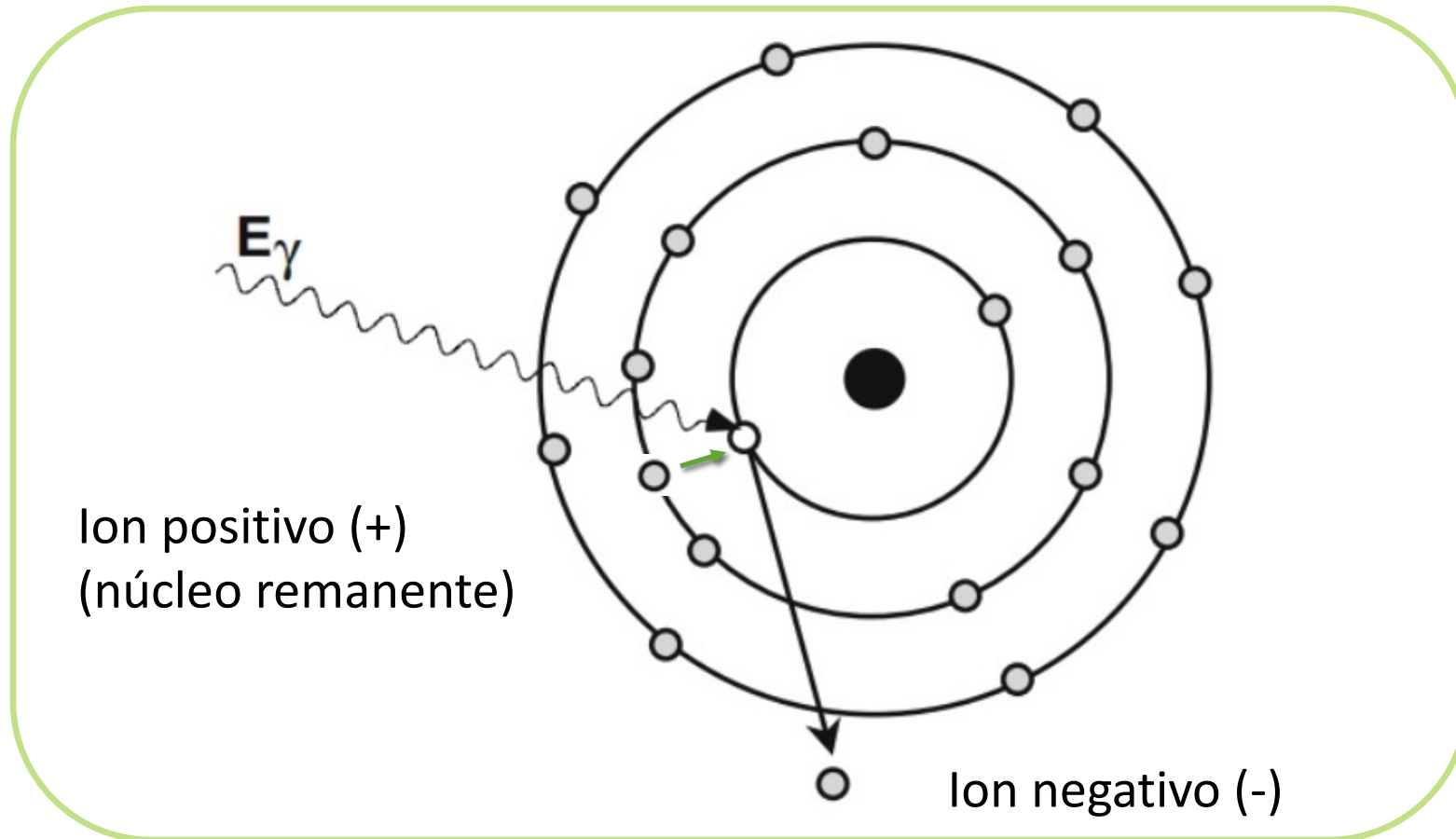


1- Energía entrante

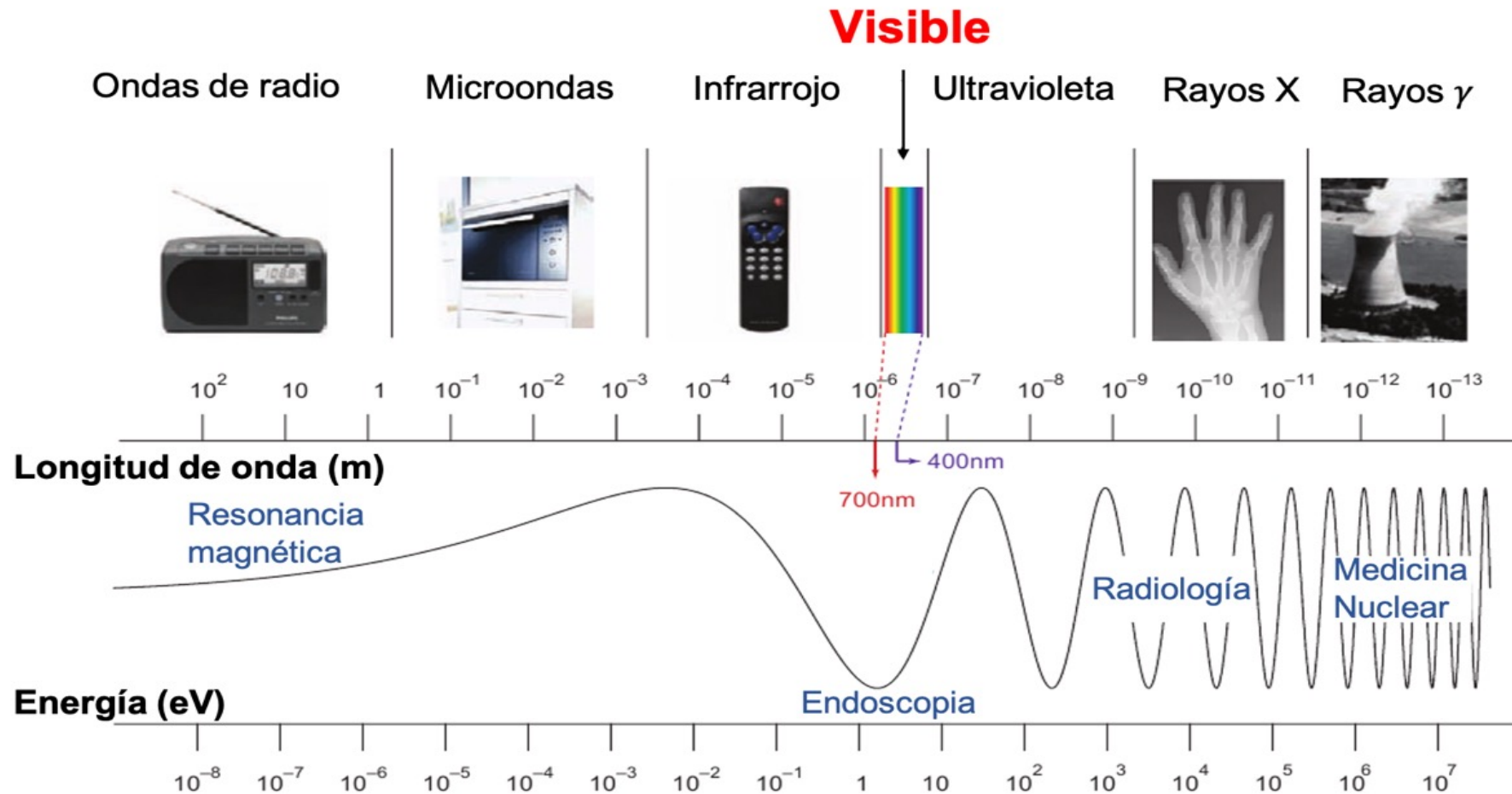
2- El electrón recibe energía

3- Emisión de energía

Ionización del átomo



Espectro electromagnético

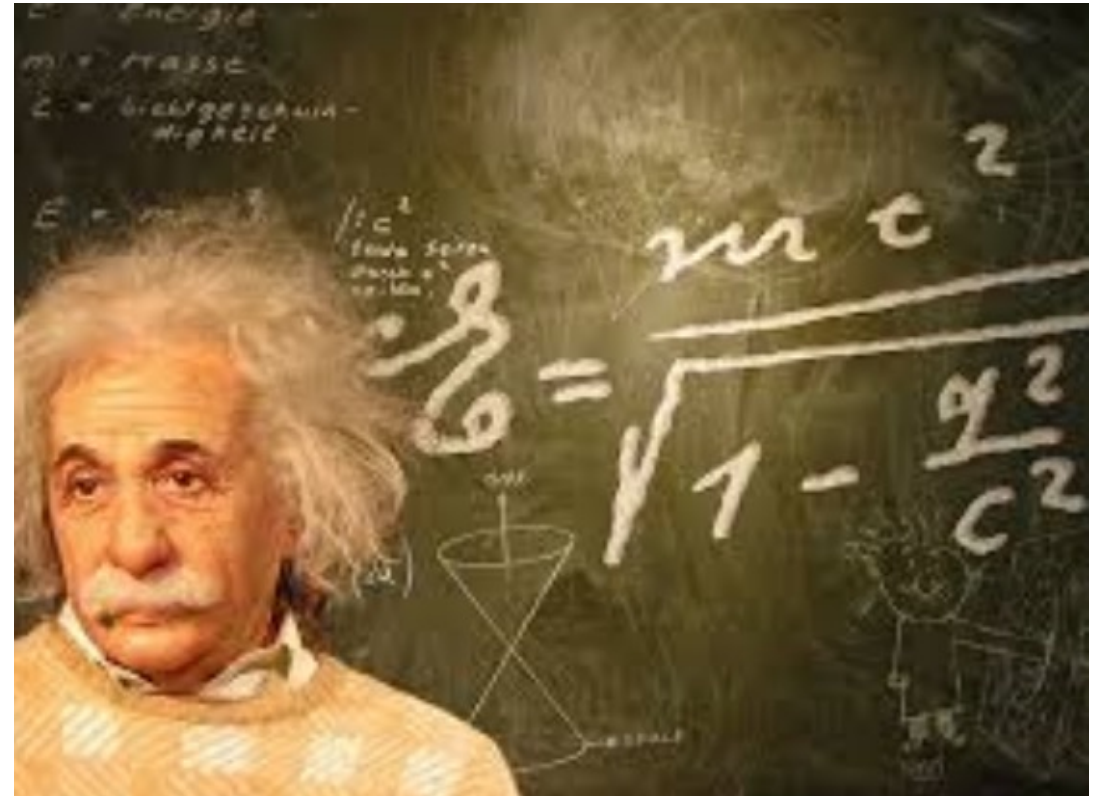


Radiación

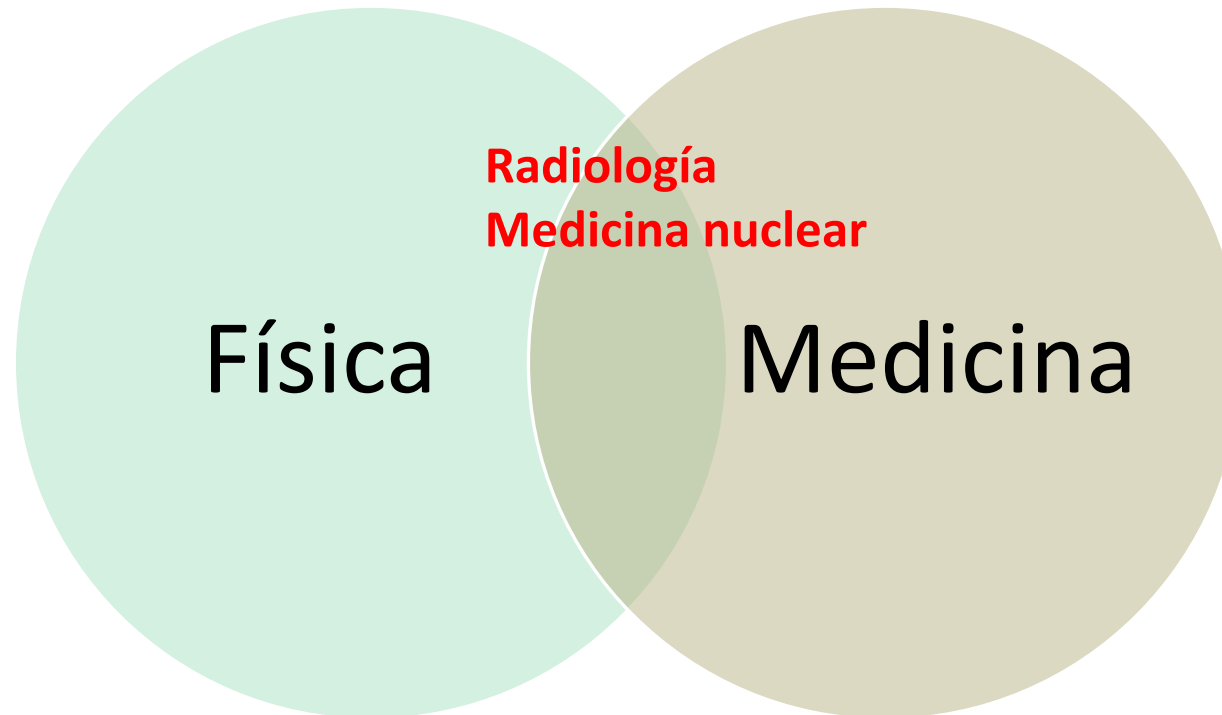
Energía en Movimiento

Colorario:

La energía no se crea, ni se destruye, sólo se transforma



¿Qué es la física médica?



“Aplicación de la física a la medicina”.

En especial el uso de radiaciones ionizantes para diagnóstico o tratamiento médico

¿Qué es medicina nuclear?

Especialidad médica con fines asistenciales, docentes y de investigación donde se emplean fuentes **radiactivas abiertas**.

Aplicación: la radiación ionizante (radiofármacos) se emplea para el diagnóstico clínico, terapia o ambos.

Proporciona **información metabólica** del sujeto de estudio.



Radiomarcado de moléculas:

El proceso inicia con una molécula de interés biológico unida a un radionúclido



Producción del radionúclido:

- Ciclotrón
- Reactor nuclear



Separación del isótopo radiactivo



Aplicación a pacientes

Forma farmacéutica

Radiomarcado

Aplicación de la radiación ionizante

Área de la medicina:

TERAPIA (TRATAMIENTO)

DIAGNÓSTICO CLÍNICO



Imágenes



Equipos PET, SPECT e híbridos con CT, MRI.

Diagnóstico clínico con radiación

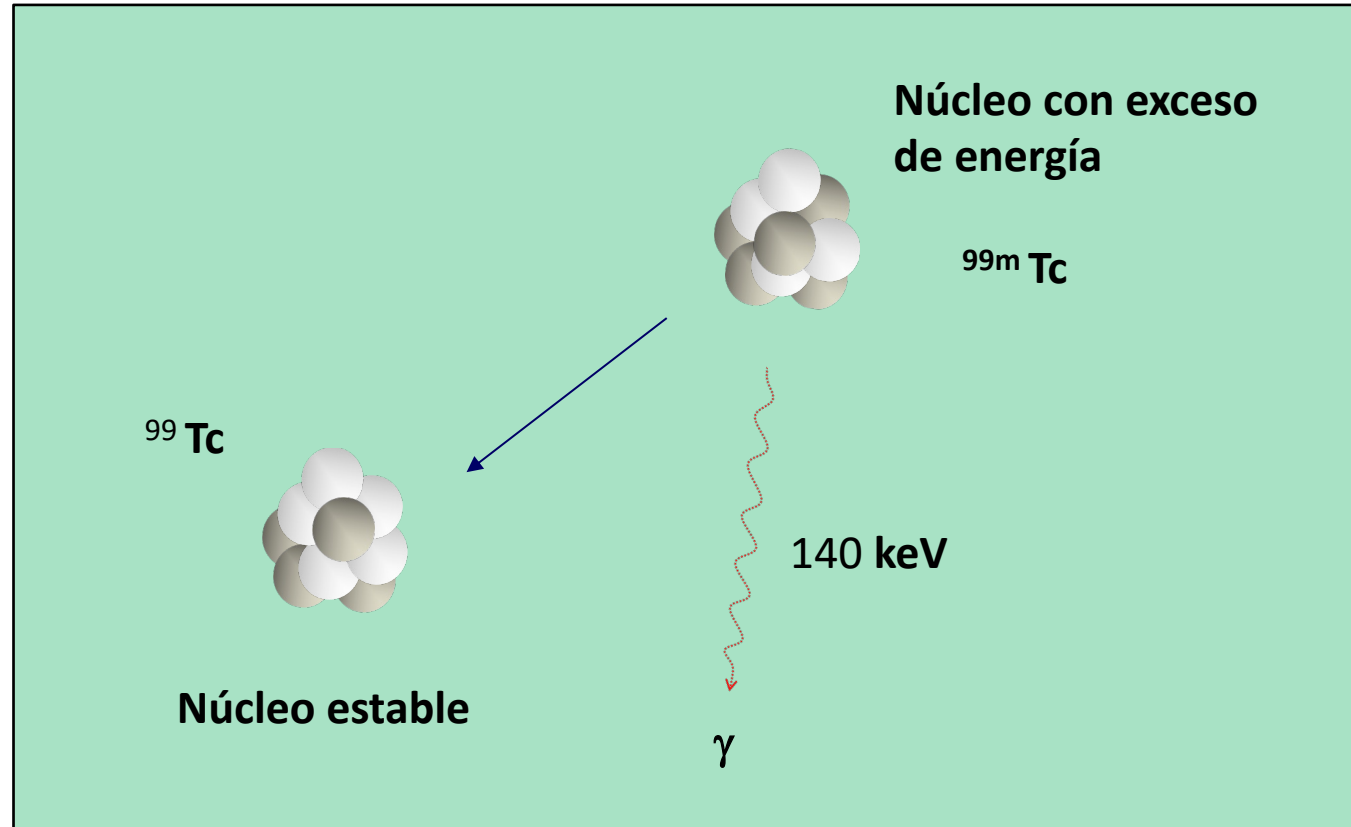
El diagnóstico clínico se realiza a través de la aplicación de radiación ionizante en forma de **radiofármacos**..

Las principales áreas de aplicación son:

Oncología, Neurología y Cardiología

- 1. Tomografía Computada por Emisión de Fotón Único (SPECT)**
- 2. Tomografía por Emisión de Positrones (PET)**

1.- Transición Isomérica (γ) – Decaimiento gamma



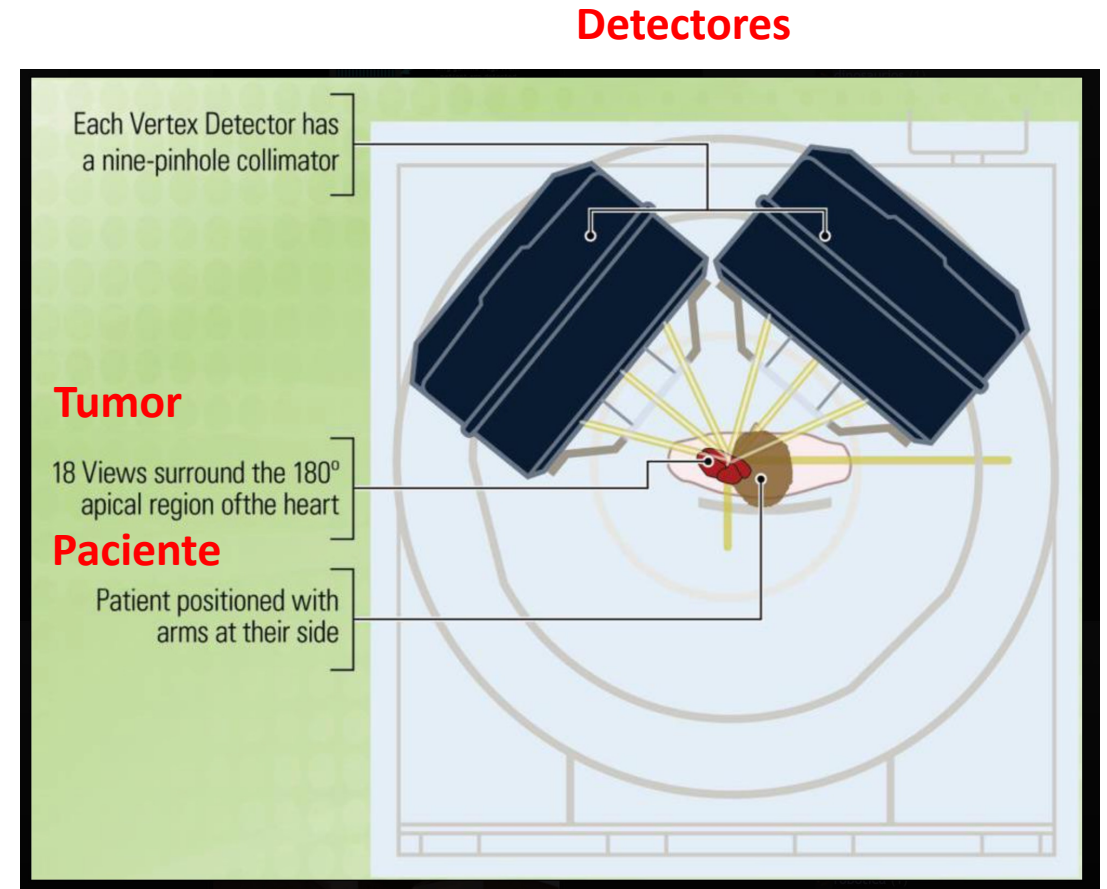
El exceso de energía de núcleo se libera por la emisión de fotones gamma de alta energía: ^{201}Tl , ^{67}Ga , ^{131}I

Tomografía computada por emisión de fotón único (SPECT)

La técnica de SPECT, se basa en el uso radionúclido emisores de fotones.

Son núcleos atómicos inestables que liberan su energía emitiendo fotones.

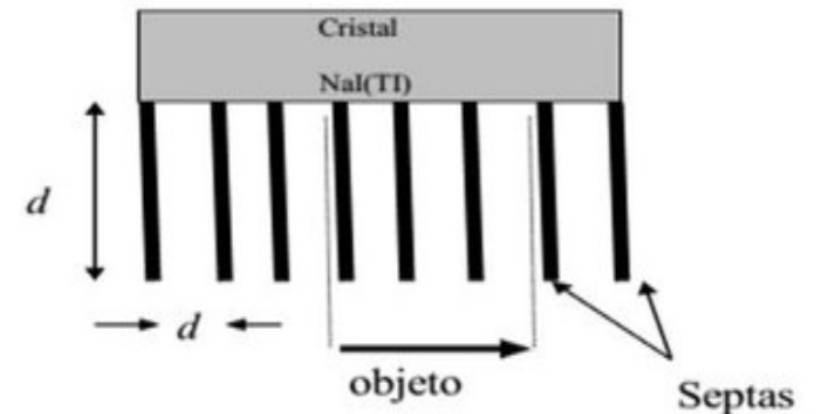
Se forman generalmente por otros decaimientos como es beta menos.



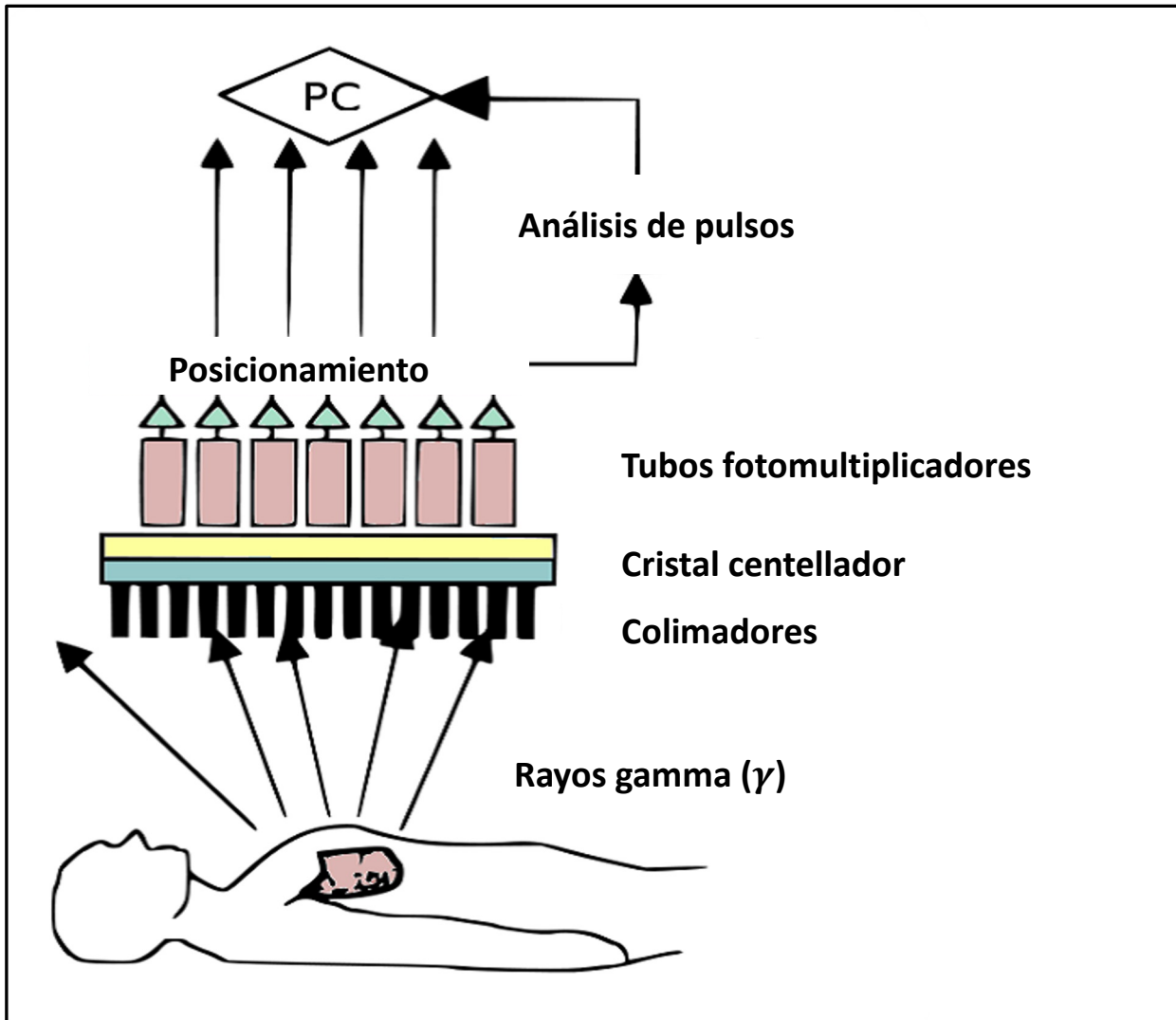
Gammacámara SPECT



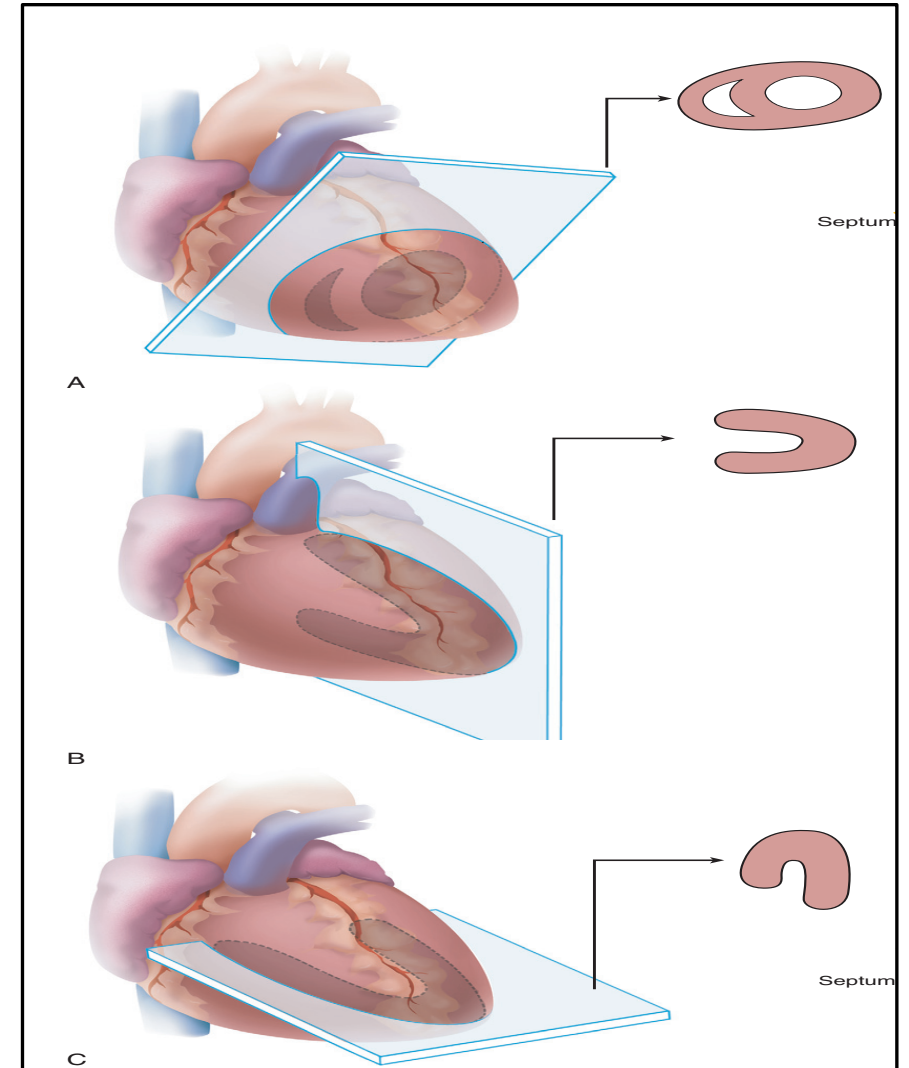
Se emplean colimadores para seleccionar fotones gammas que llevan una dirección preferencial y energía requerida.



Resolución espacial ≈ 1 cm



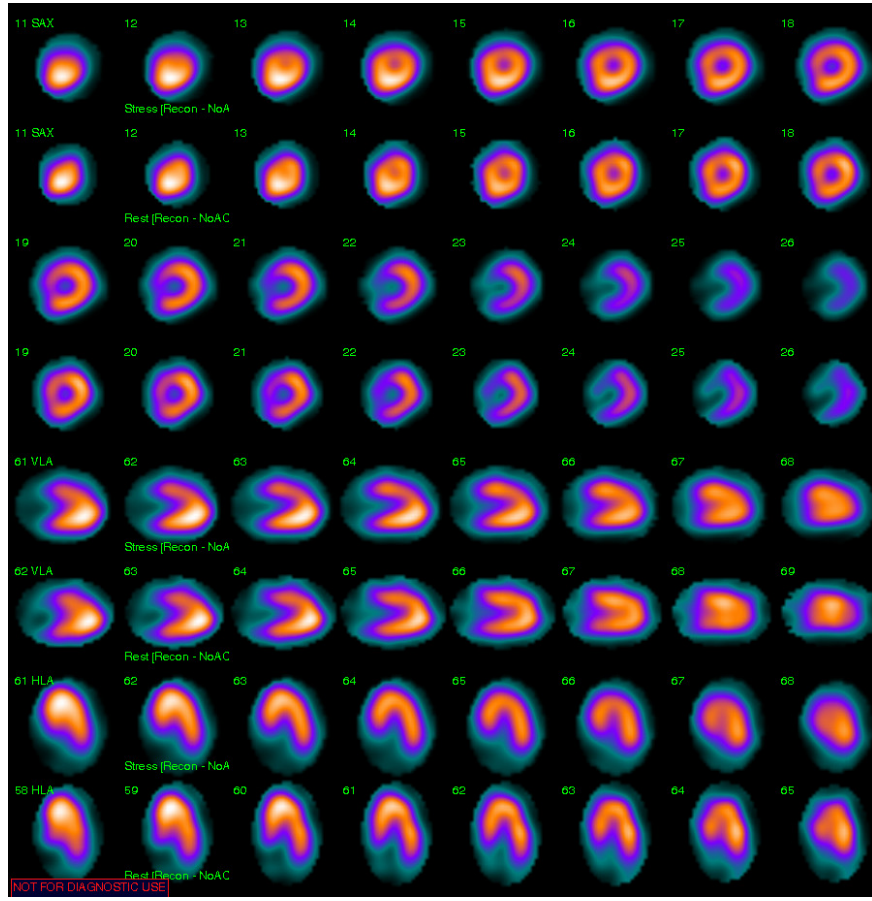
Tomografía computada por emisión de fotón único



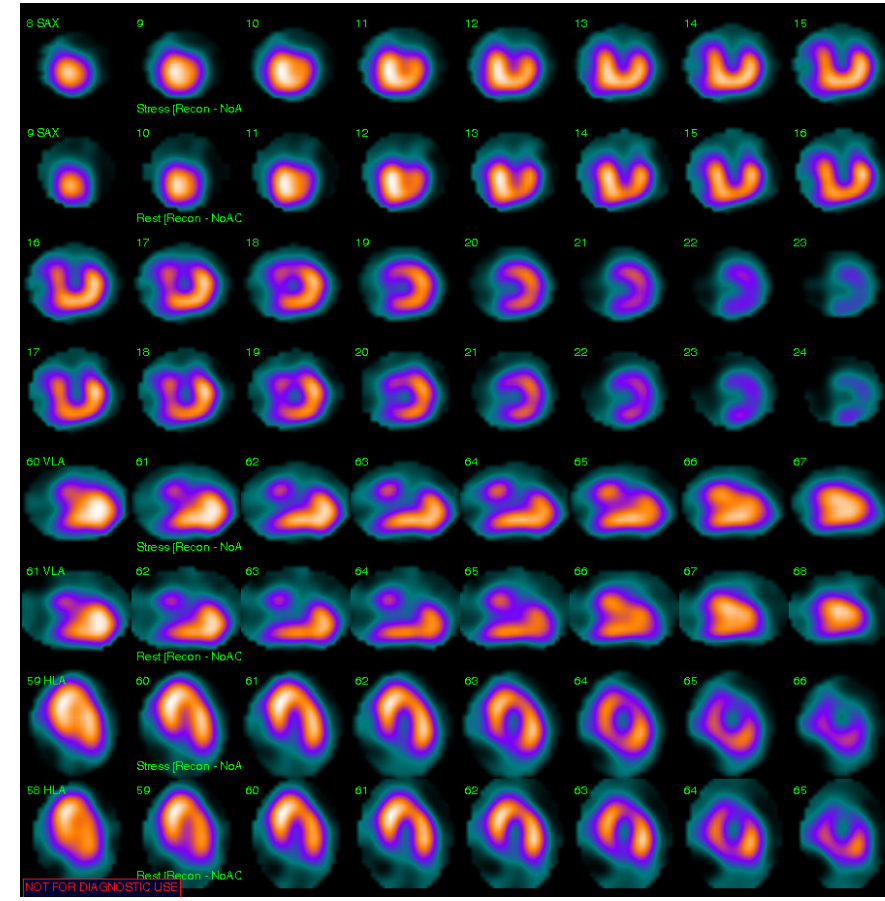
Planos de análisis del corazón

Estudios SPECT del músculo cardíaco

A) Normal

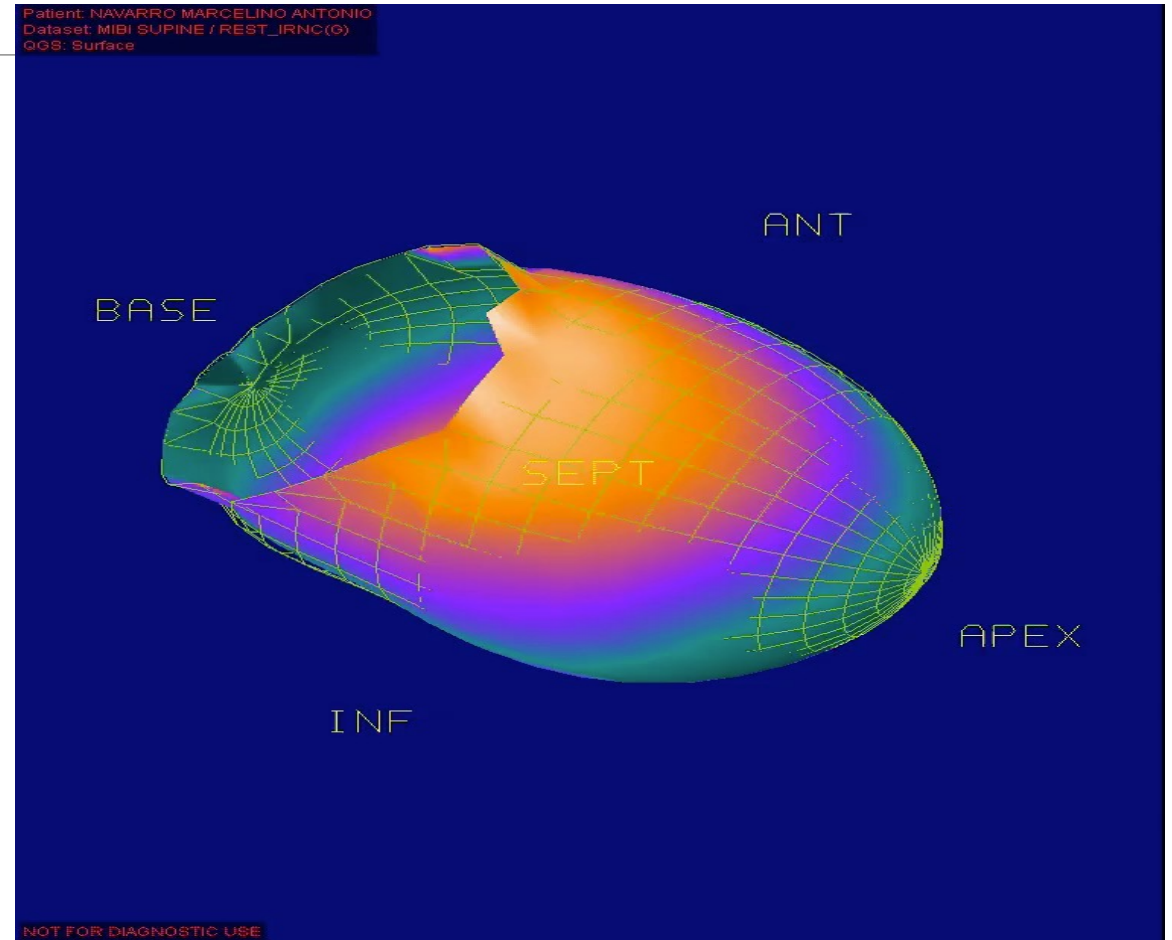
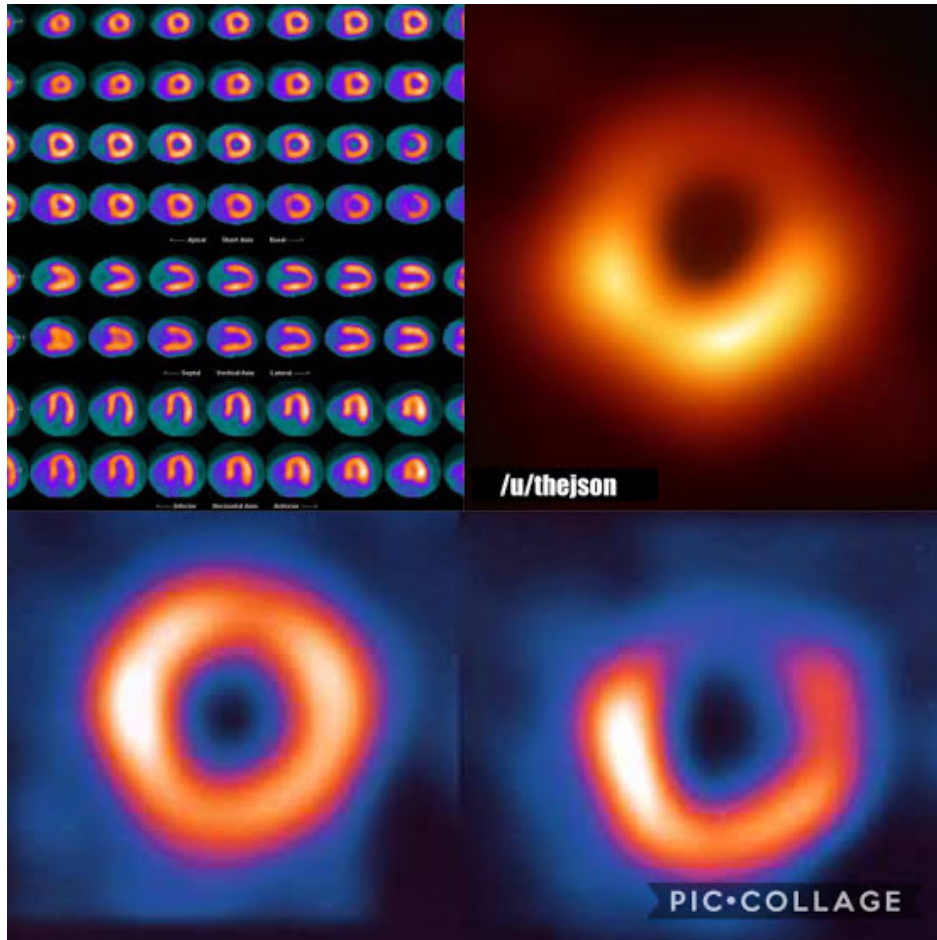


B) Infarto

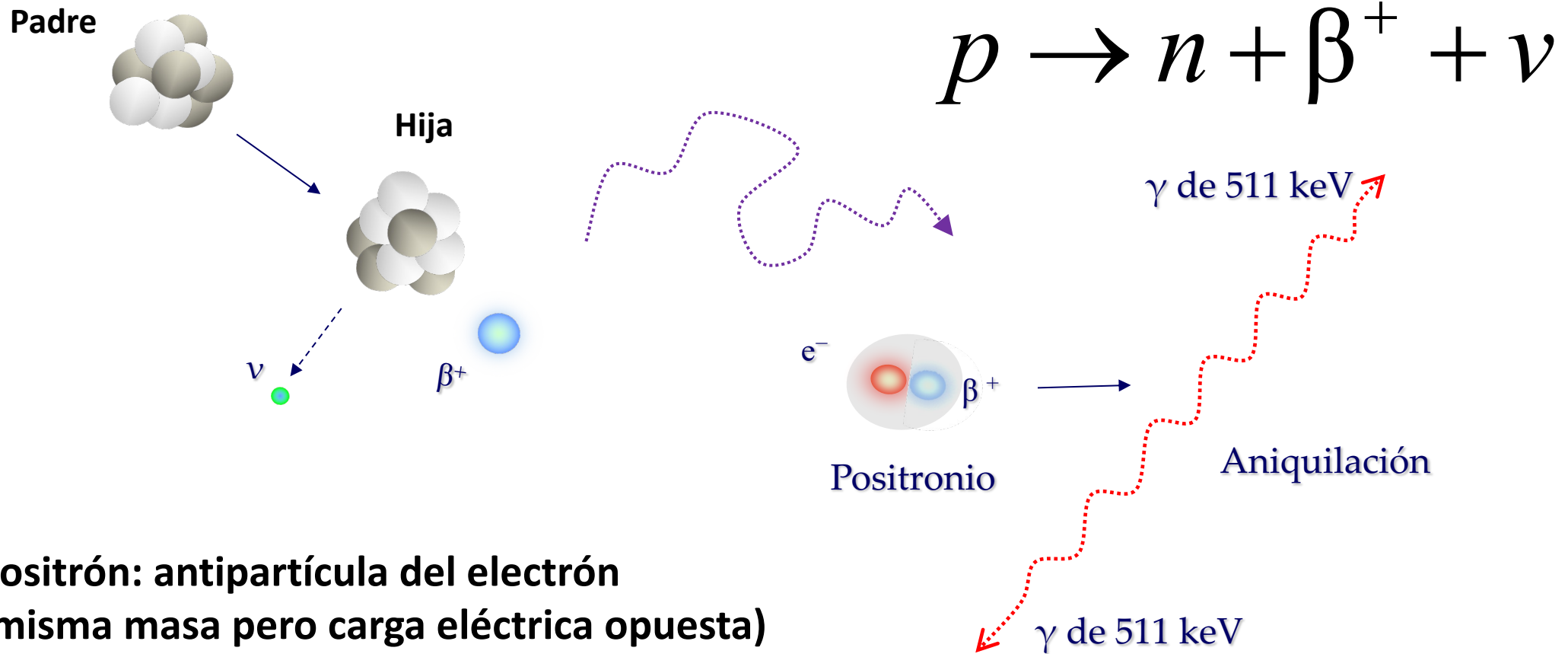


Comparación de un estudio de un paciente normal vs un paciente con infarto

Estudios SPECT del músculo cardíaco



2.- Decaimiento por positrones o Beta más (β^+)



**Positrón: antipartícula del electrón
(misma masa pero carga eléctrica opuesta)**

Ejemplos: ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F

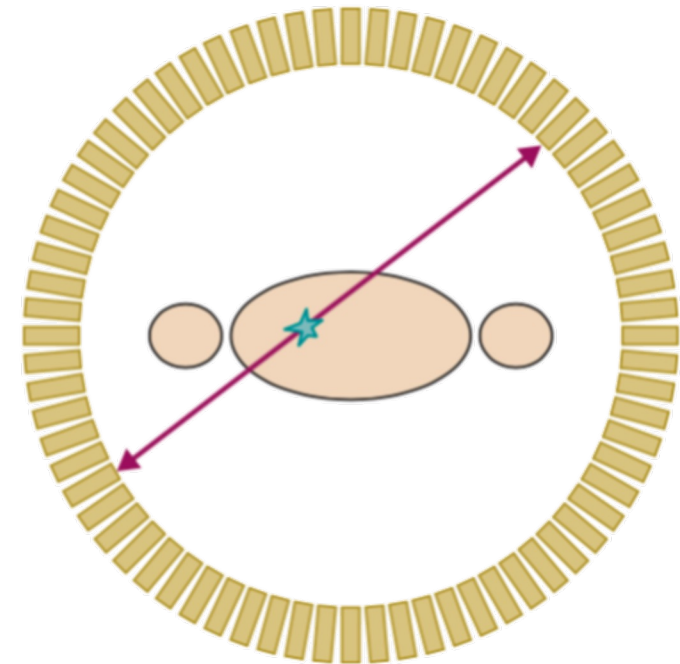
Tomografía por emisión de positrones (PET)

La técnica de imagen que se caracteriza por ser mínimamente invasiva

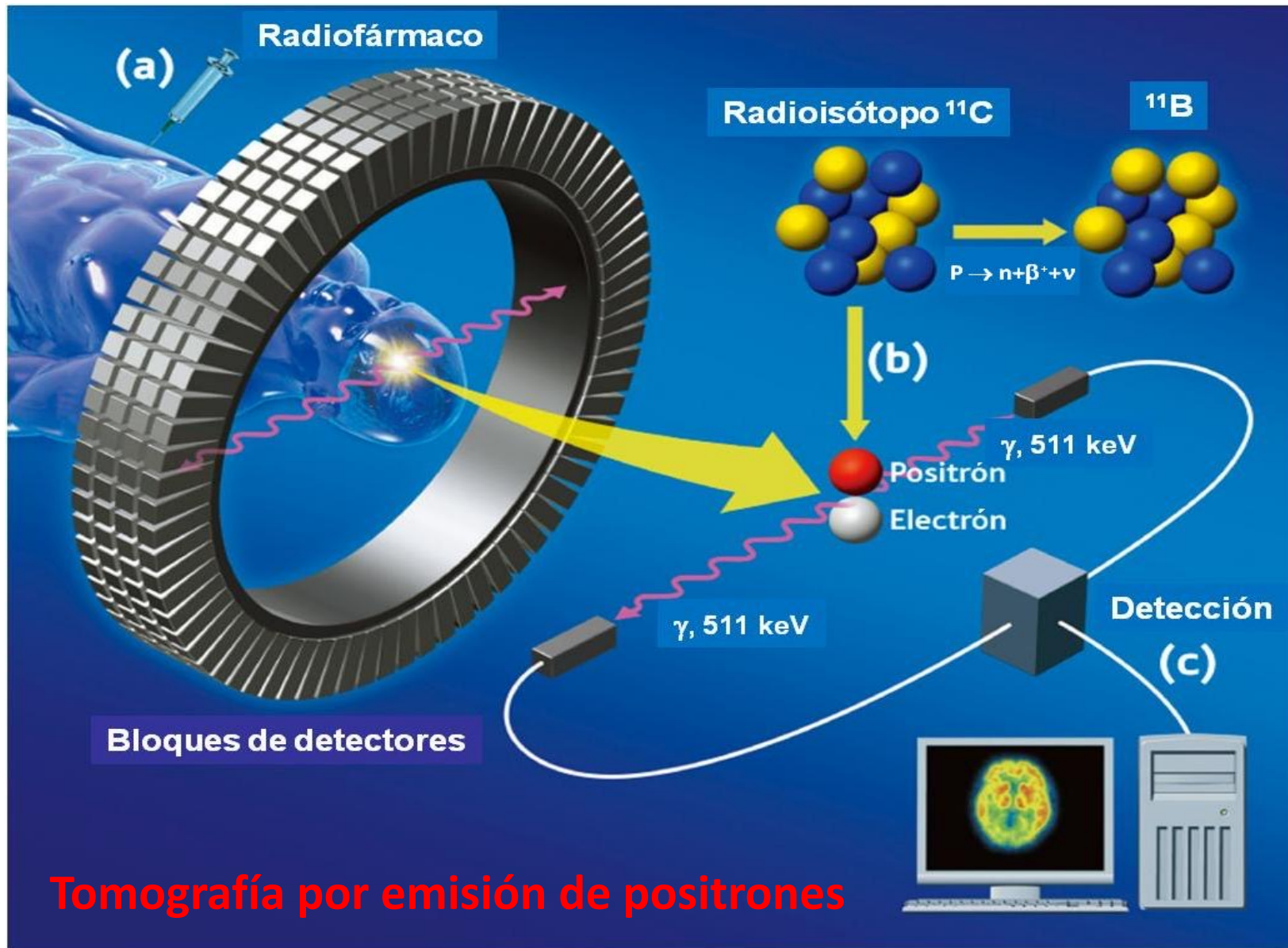
Proporciona información metabólica de órganos y tejidos en procesos neoplásicos

Uso de radionúclidos emisores de positrones, principalmente Flúor-18: [^{18}F]

Anillo detector en PET



Colimación electrónica



Tomografía por emisión de positrones

Equipo PET/CT Biograph Vision 600



Resolución espacial:

➤ **PET** clínico $\approx 4 - 6$ mm

➤ **μ PET** (animales) ≈ 1.5 mm

➤ **PEM** (mamografía por emisión de positrones) ≈ 2 mm

Resolución espacial depende:

- Tamaño del detector,
- Alcance del positrón,
- No colinealidad
- Codificación
- Penetración de los fotones

Detectores

Los equipos PET usan detectores de fotones, capaces de registrar la radiación proveniente del sujeto de estudio para formar la imagen.



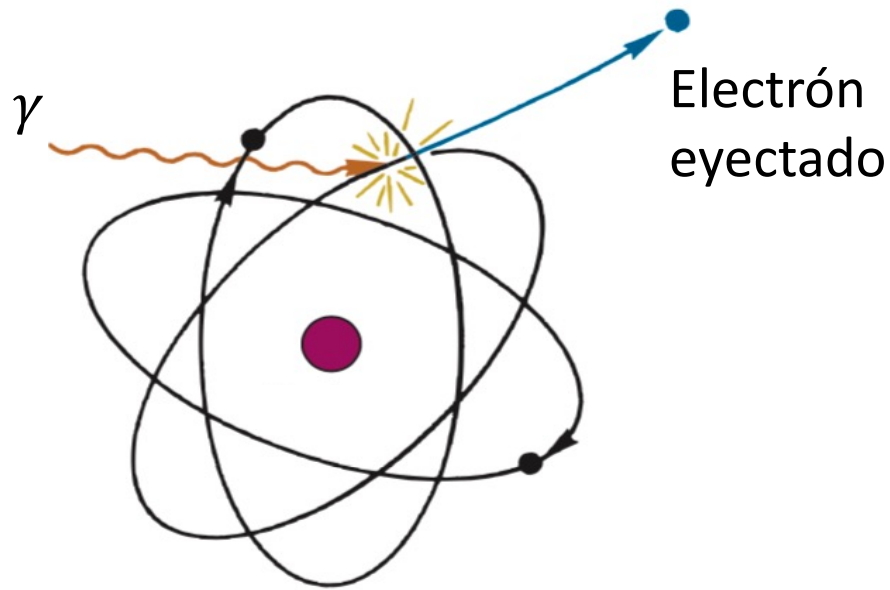
Electrónica

Bloque detector
(Centellador, guía de
luz fotodetector:
PMT, SiPM)

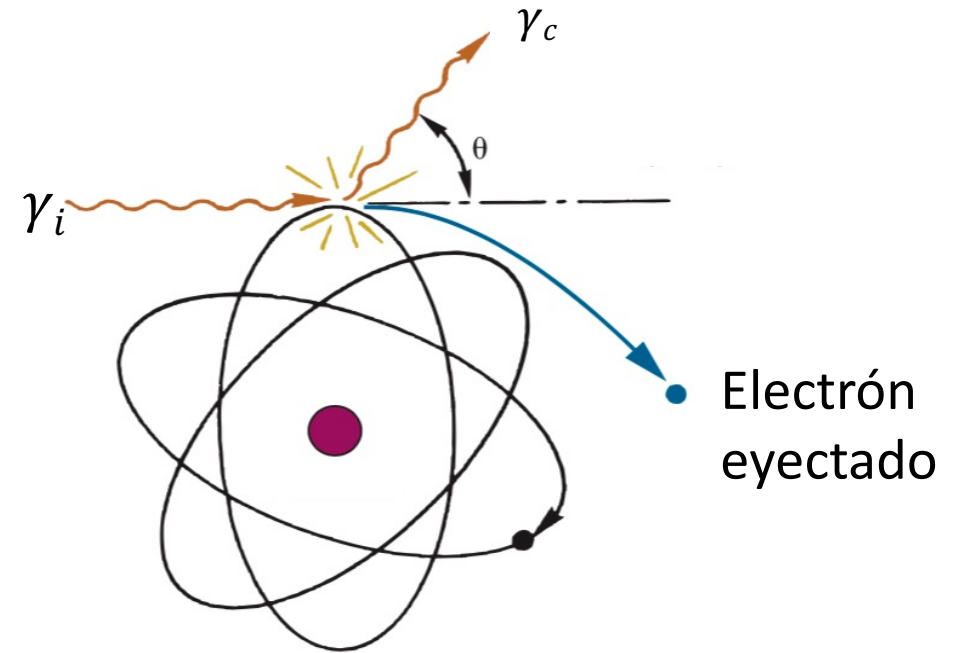
Anillo detector μ PET (MicroPET para animales pequeños)

Procesos físicos involucrados

Para fotones gammas con energías de interés en el diagnóstico clínico (140, 511 keV)

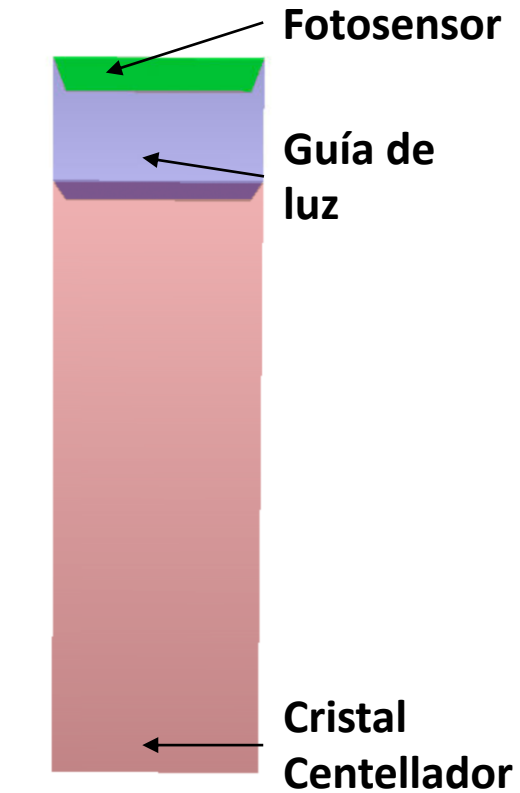


Efecto fotoeléctrico



Dispersión Compton

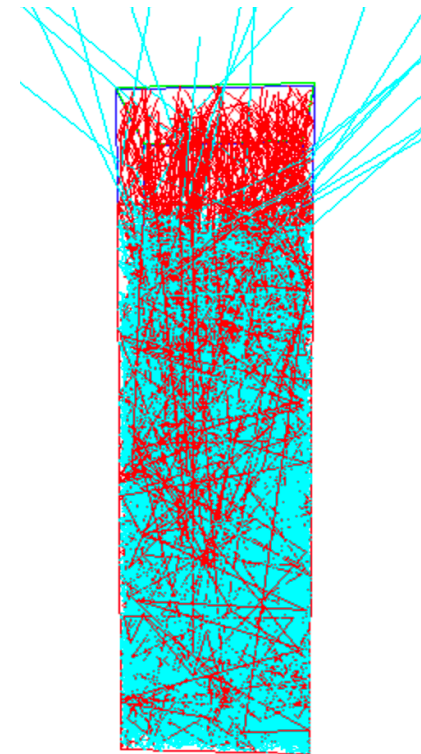
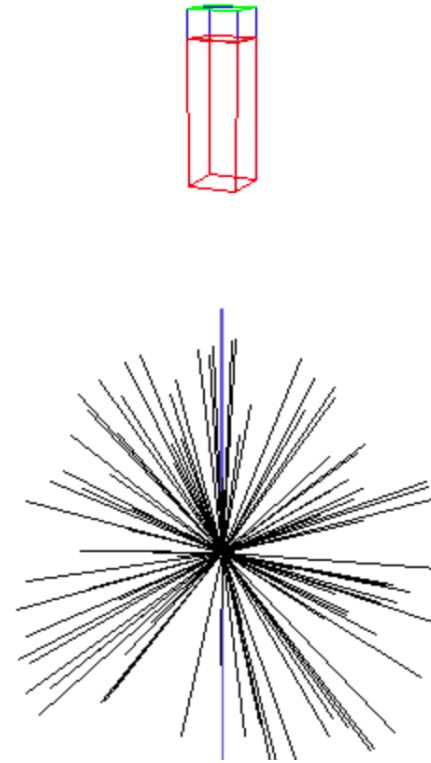
Detección de la radiación (Luz)



Bloque detector



Fuente de radiación



Producción de
Fotones de luz

Estudio de tomografía por emisión de positrones

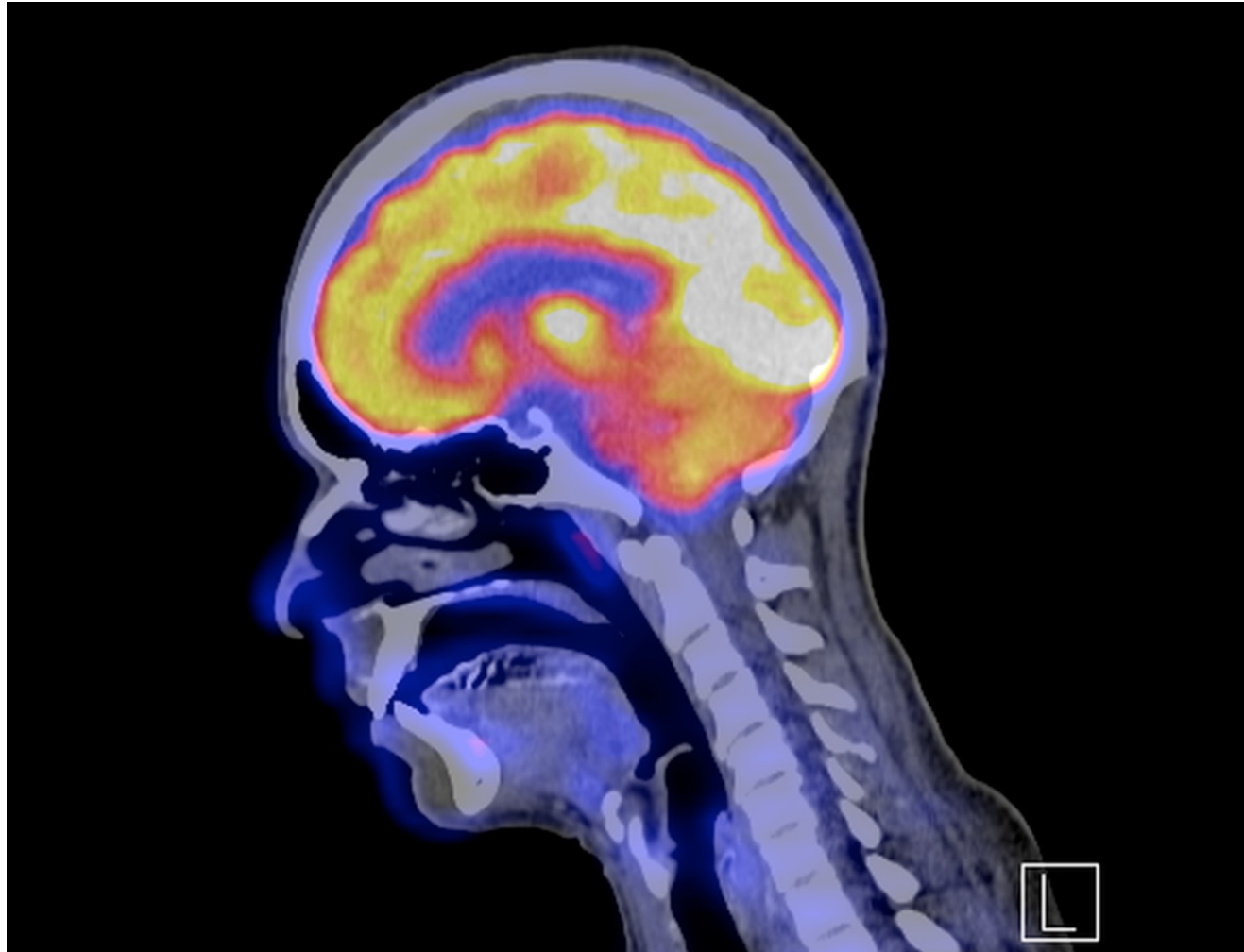
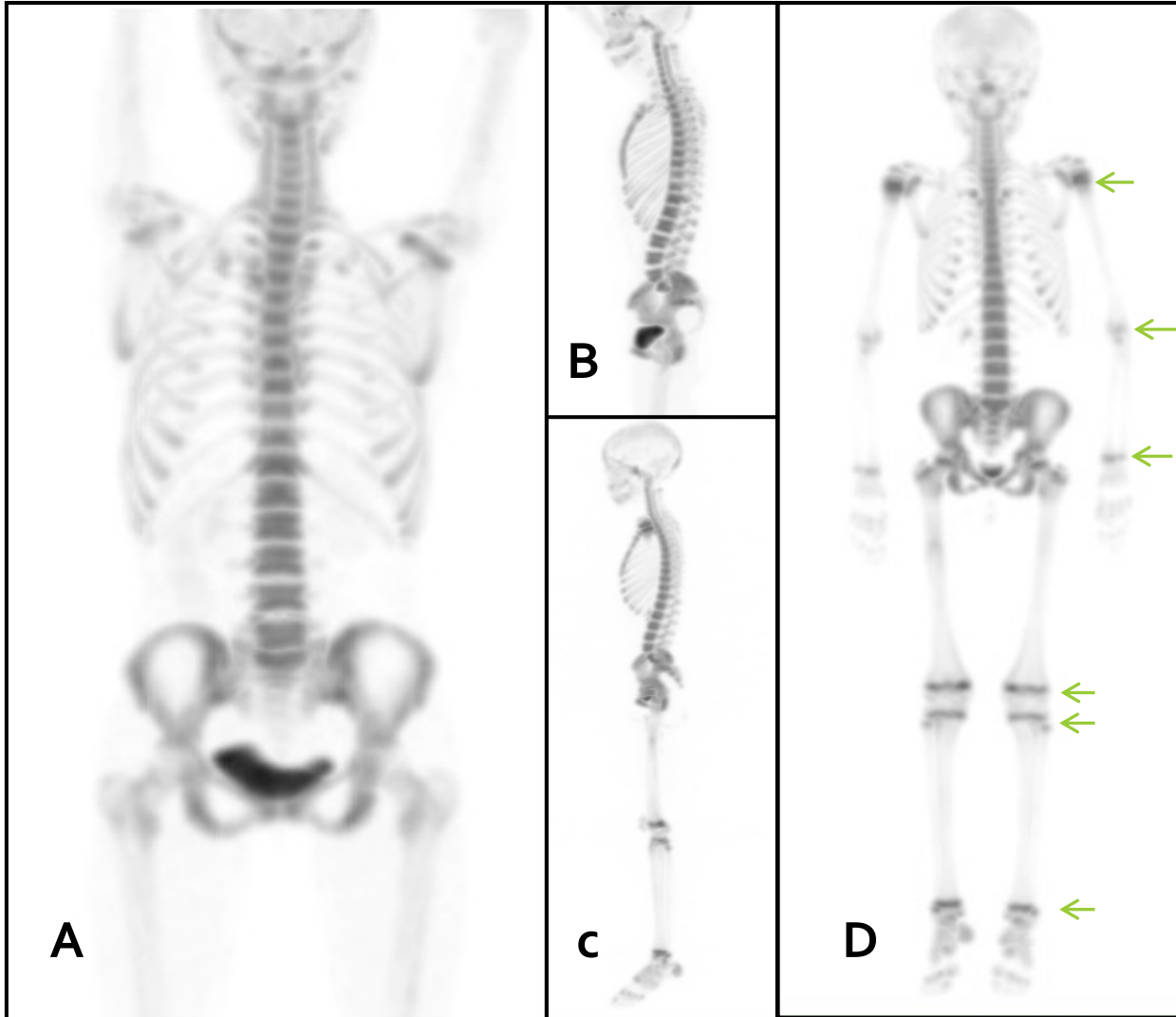


Imagen PET de Cerebro, $[^{18}\text{F}]$ Fluorodesoxiglucosa ($[^{18}\text{F}]$ FDG)

Estudio de tomografía por emisión de positrones



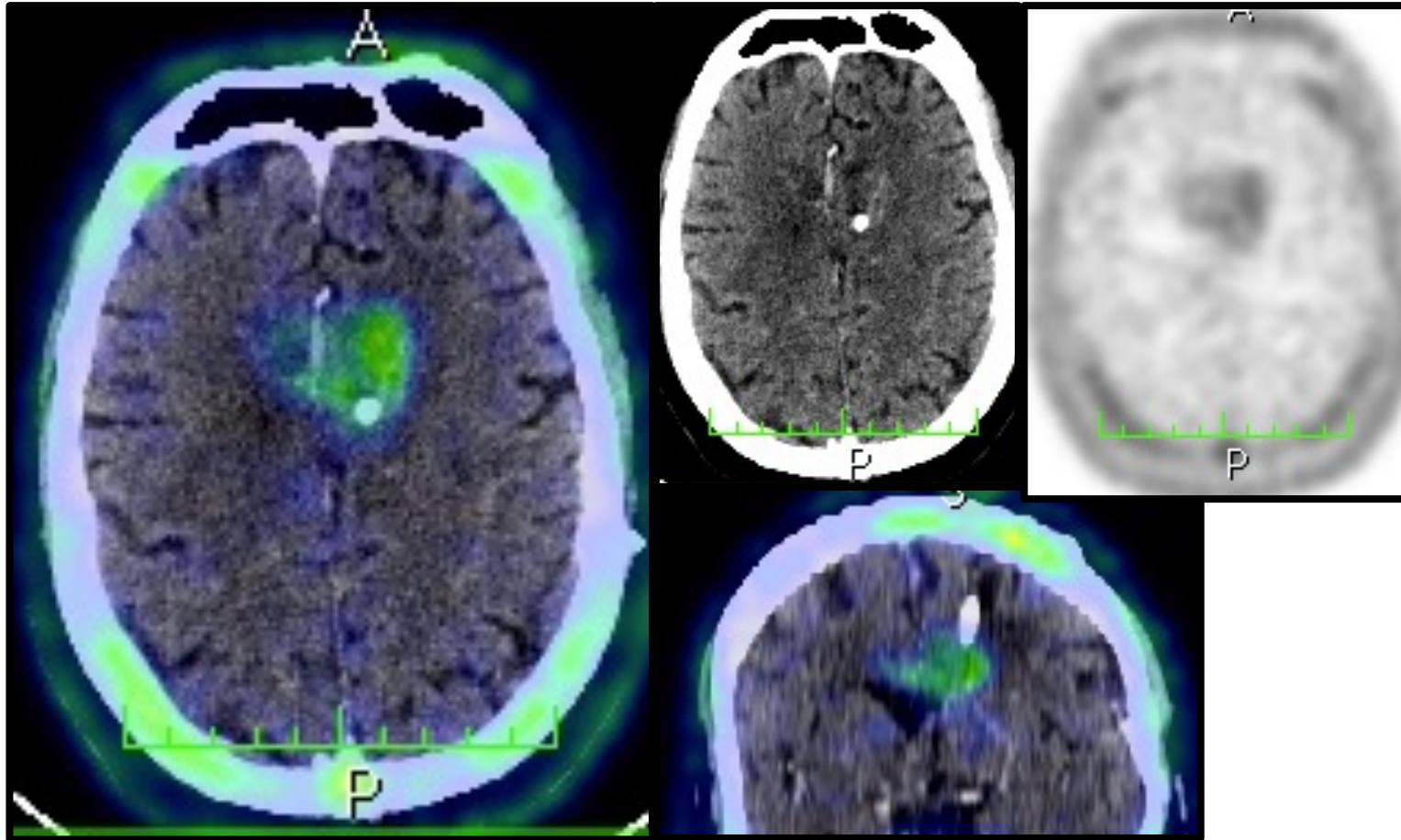
Biodistribución normal del $[^{18}\text{F}]$ Fluoruro de Sodio

Proyección de máxima intensidad (MIP) para un adulto (A y B) y para un niño (C y D)

Captación normal del radiofármaco en médula ósea y centros de osificación.

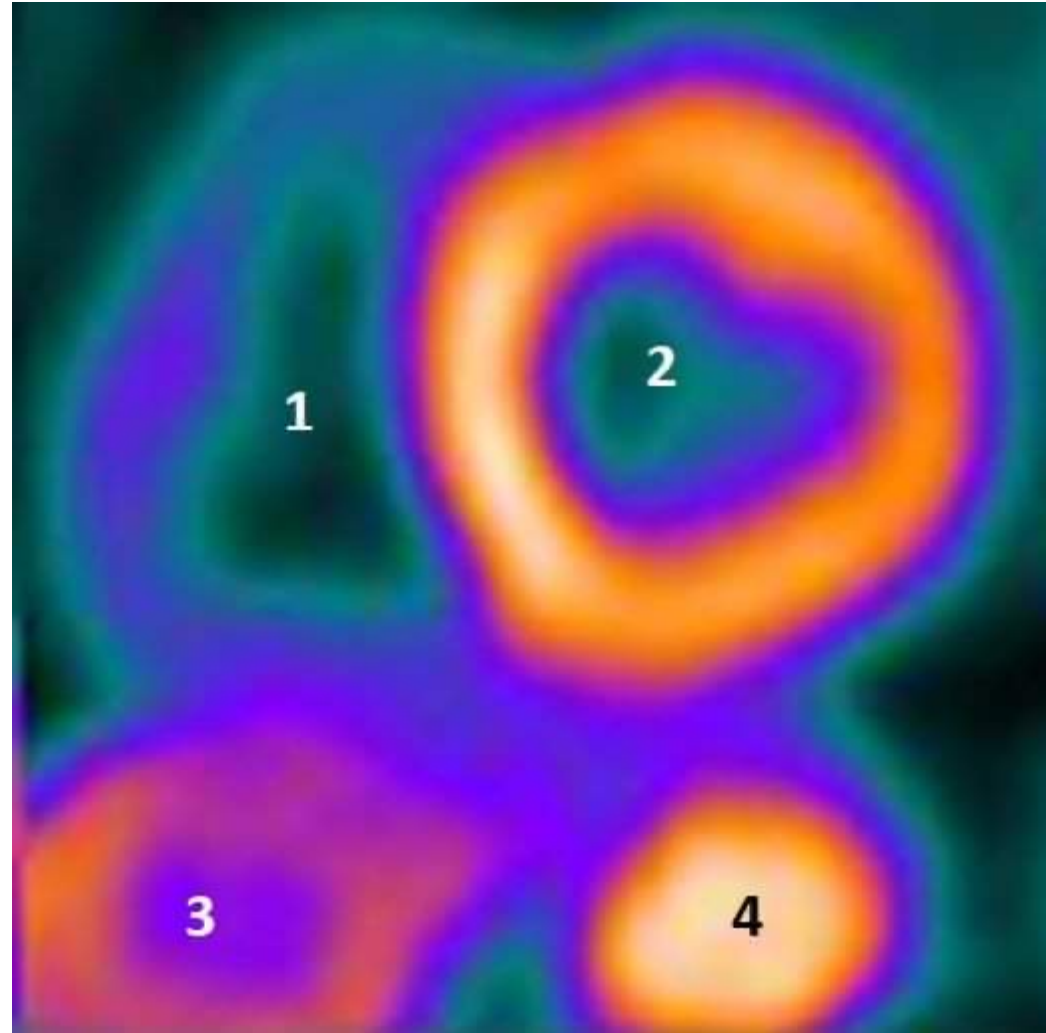
Eliminación por la vía urinaria

Astrocitoma anaplásico



Estudio PET, realizado con $[^{18}\text{F}]$ Fluorotimidina ($[^{18}\text{F}]$ FLT), útil para evaluar tumores del SNC

PET de músculo cardíaco, [^{13}N]Amonio



1.- Ventrículo derecho, 2.- Ventrículo Izquierdo, 3.- Hígado, 4.- Intestino

Estadificación y respuesta a tratamiento

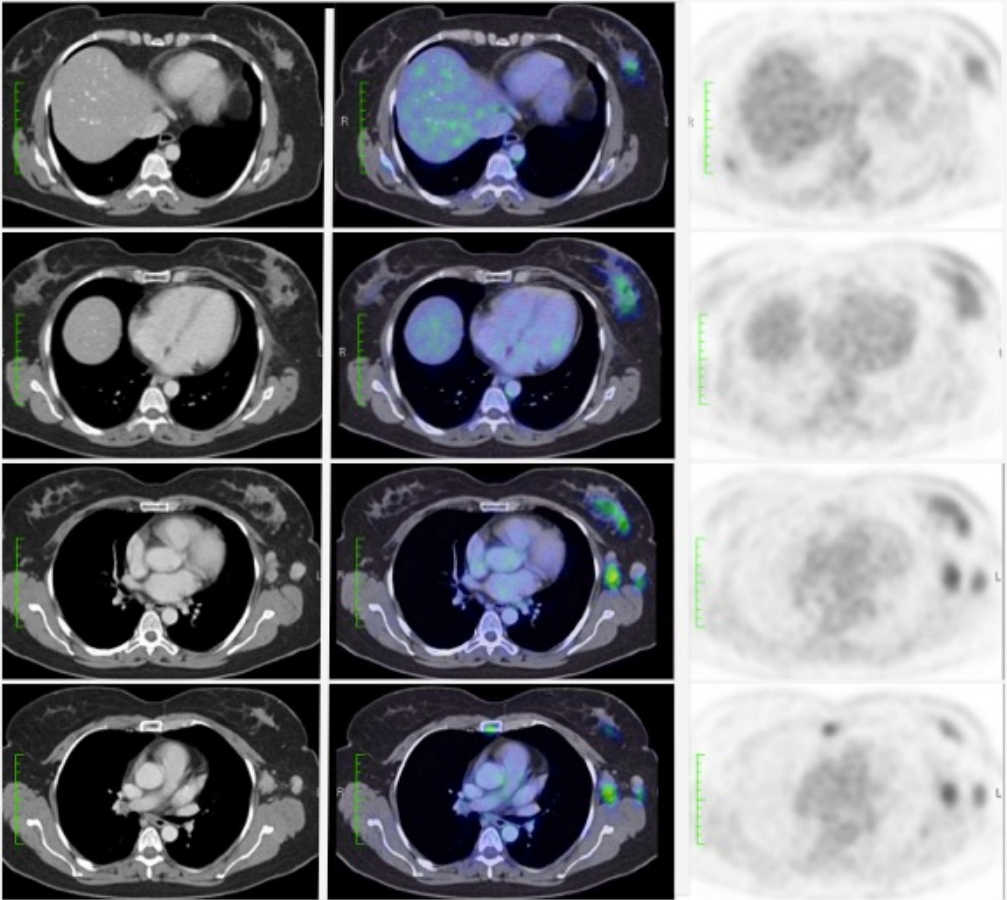
Cáncer de mama, sin tratamiento.

- Mama izquierda
- Ganglios axilares ipsilaterales

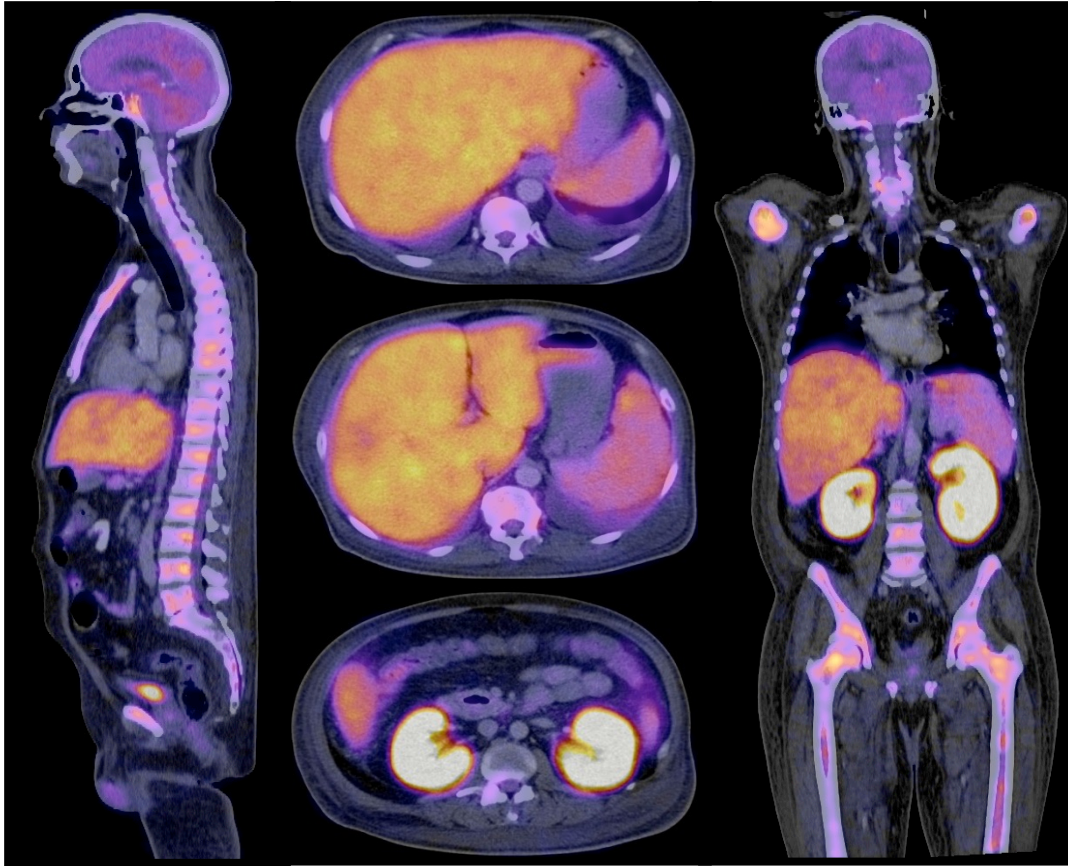
CT

PET/CT

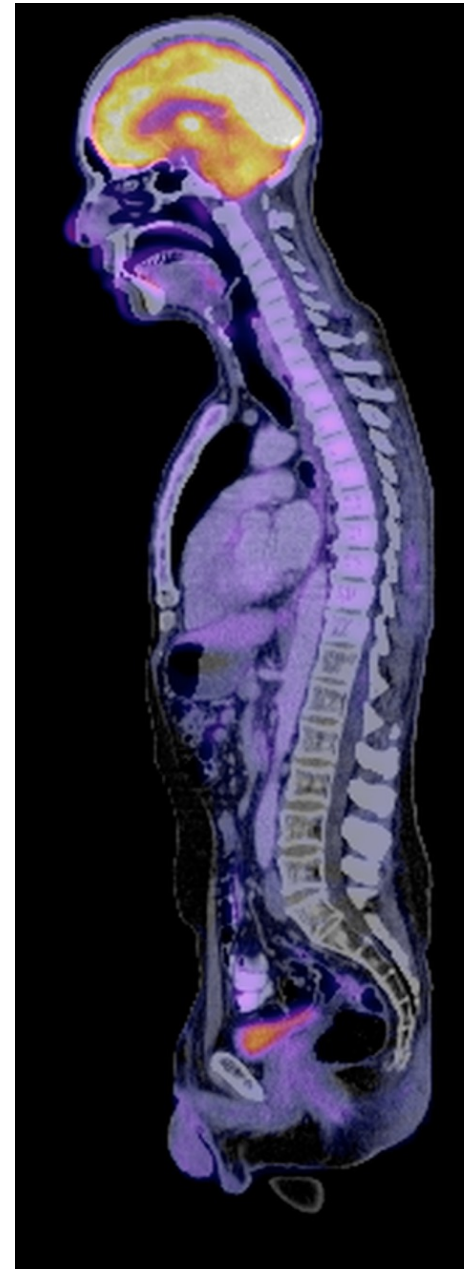
PET



LINFOMA



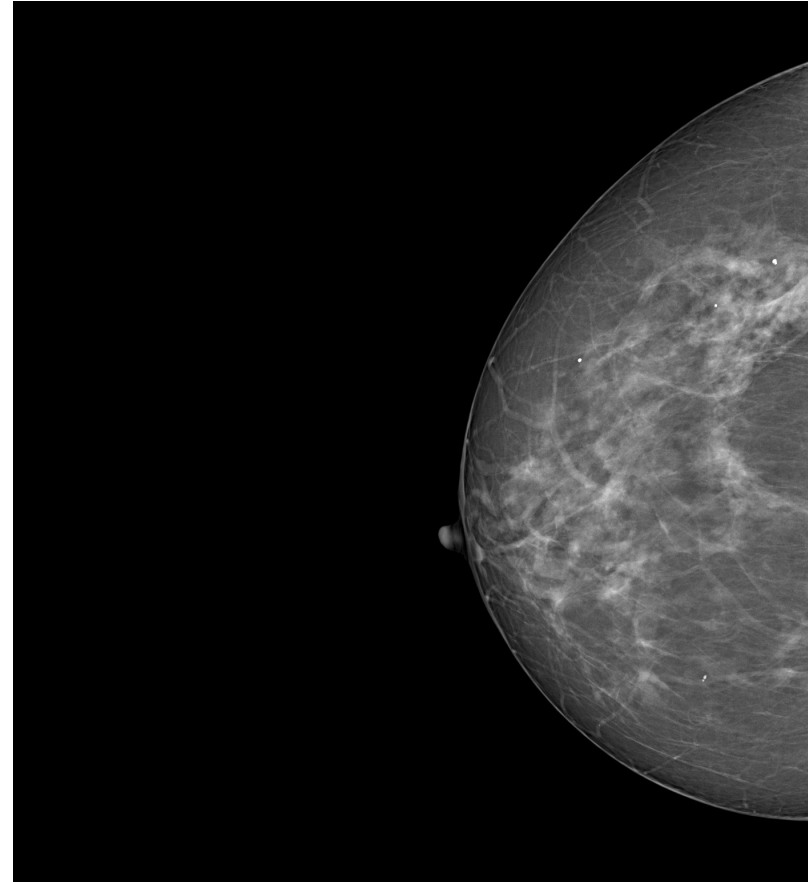
Cáncer del sistema linfático, [^{18}F]Fluorodesoxiglucosa.
Captación anormal en hígado, bazo y riñones



Imágenes de tomografía computada (CT) y rayos X



Pulmones



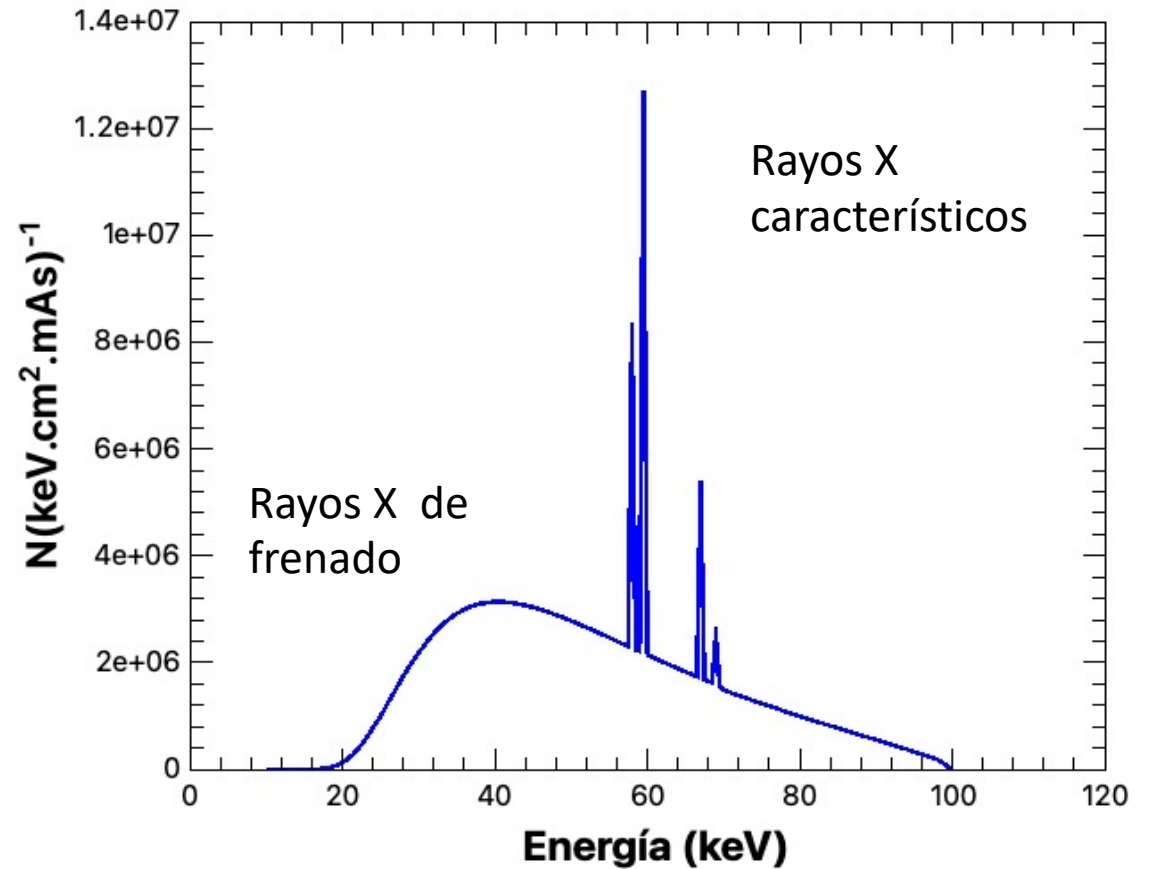
Glándula mamaria

Espectro de rayos X



Tubo de rayos X

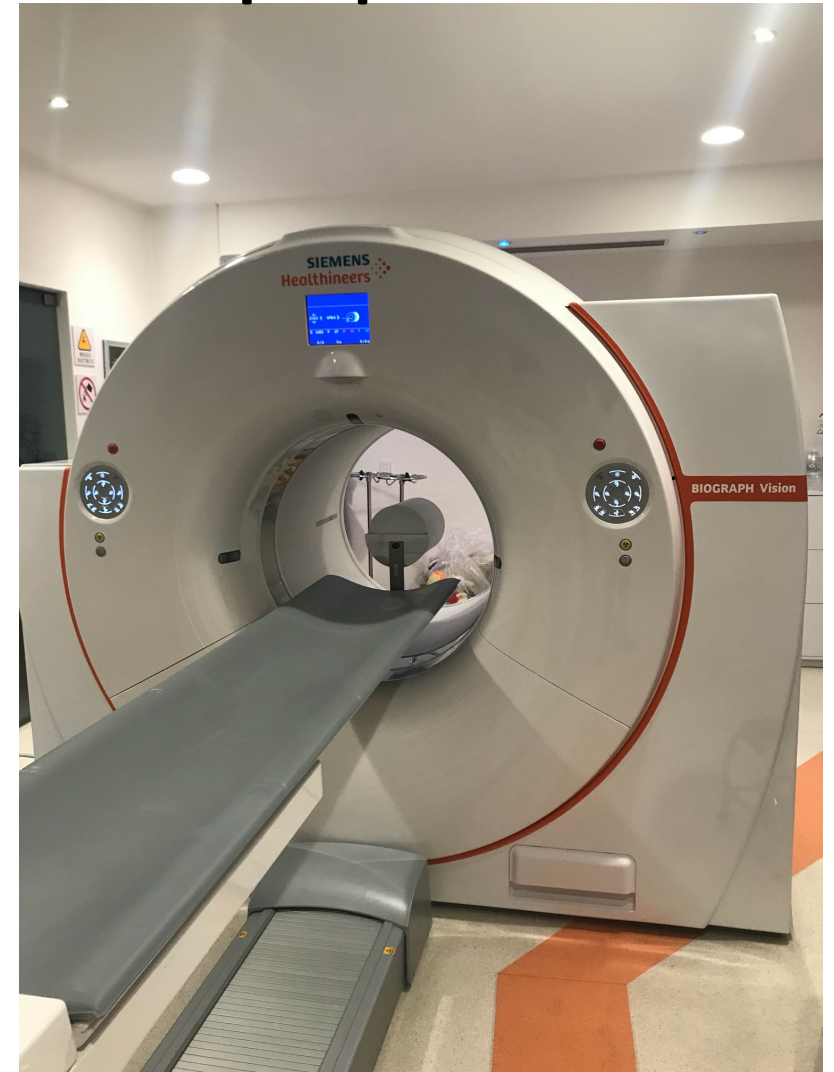
Material blanco: W, 100 kVp



Gammacámara

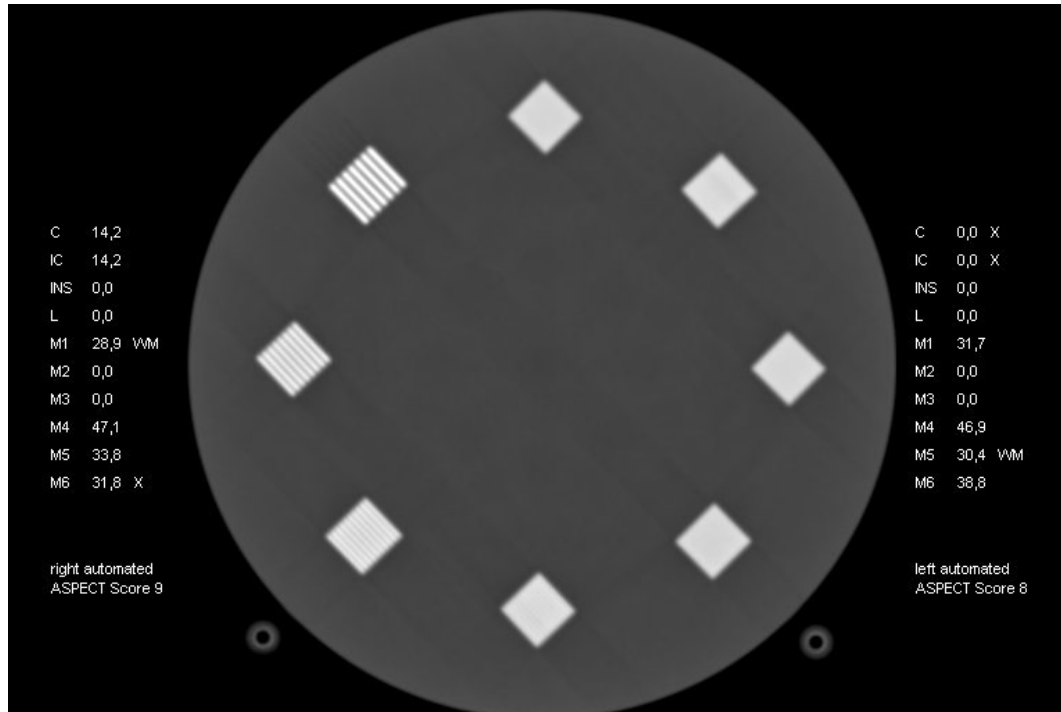


Equipo PET

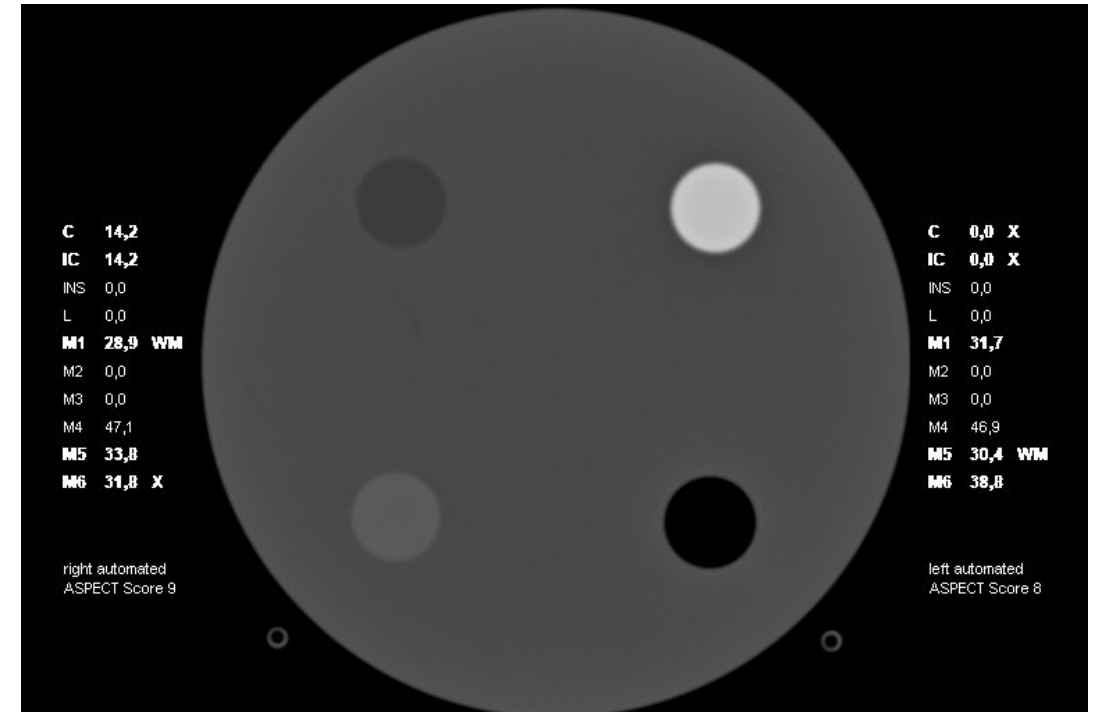


Calibración de equipos mediante phantoms

Calidad de imagen mediante phantoms en CT



Resolución espacial



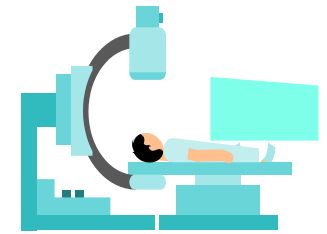
Unidades Hounsfield



Física:

Revolucionó la medicina:

- Radiología
- Medicina nuclear



Estructura del ADN

Estructura del átomo



THOMSON



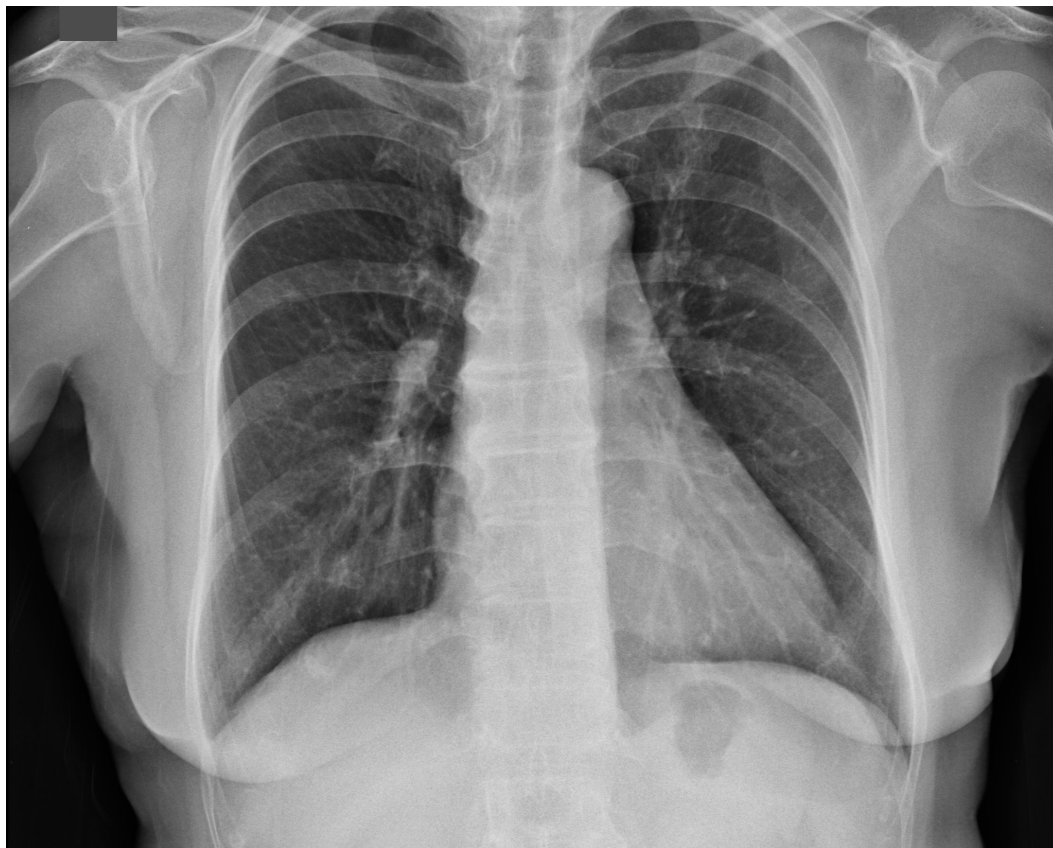
RUTHERFORD



BÖHR



SCHRÖDINGER



Preguntas



Dr. Víctor M. Lara Camacho
victormlc13@gmail.com

*AAPM (Asociación Americana de Física en Medicina)