

***Aplicaciones de la
Física de Partículas:***

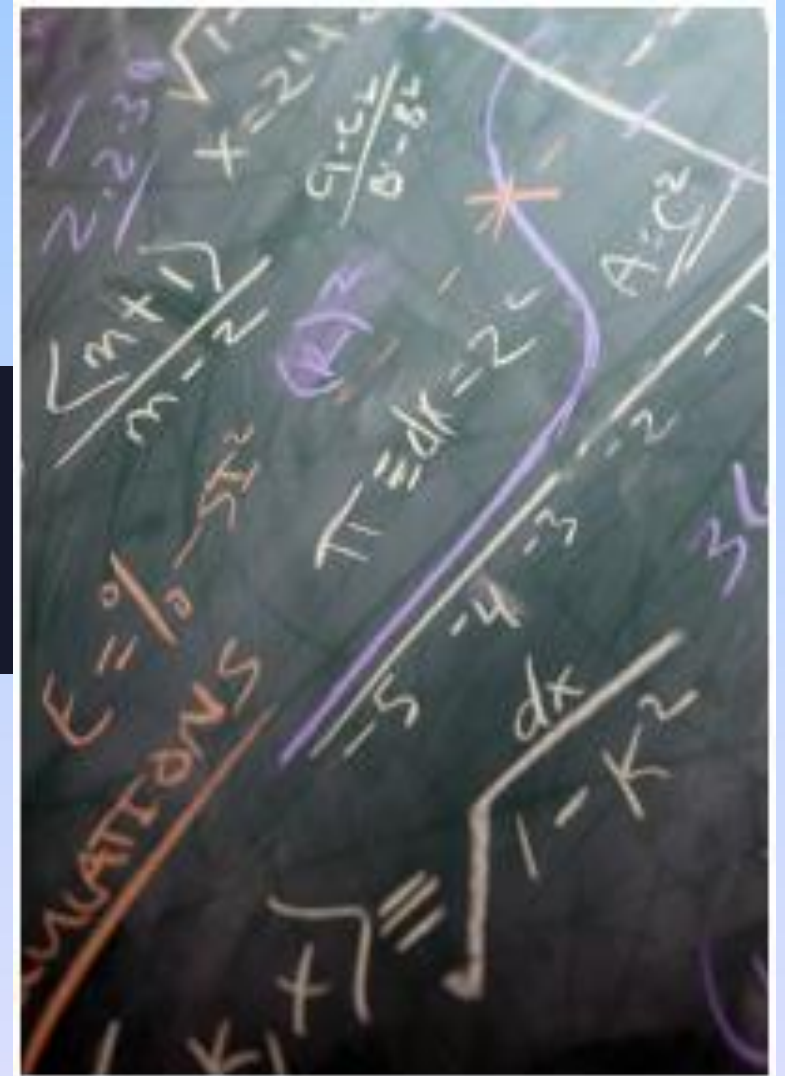
Física Médica

Pedro Arce Dubois

(CIEMAT)

Qué es la Física Médica

MEDICINA + FÍSICA = SALUD



La Física Médica es la aplicación de la física a la medicina

Generalmente se refiere a la física relacionada con imagen médica y radioterapia

Diagnóstico por imagen

- Radiología: radiografías convencionales, fluoroscopia, mamografía, densitometría ósea, angiografía y tomografía axial computerizada (TAC)
- Ecografía, incluido ultrasonido intravascular
- Radiación no-ionizante (láser, ultravioleta, etc.)
- Medicina nuclear: SPECT y PET
- Resonancia magnética nuclear (MRI)
- Magnetoencefalografía
- Tomografía de impedancia eléctrica
- Imagen óptica difusa
- Tomografía de coherencia óptica

Tratamiento de enfermedades

- Desfibrilación
- Carga de ultrasonido de alta intensidad, incluido litotriptor
- Radiación no-ionizante láser, ultravioleta etc. incluido Fotoquimioterapia y Lasik
- Fotomedicina
- Radioterapia con haces de electrones y fotones
- Tomoterapia
- Cyberknife, gamma knife
- Terapia de protones e iones
- Braquiterapia
- Terapia por captura neutrónica en boro
- Radiación Terahertz

Protección radiológica

- Protección radiológica de personal sanitario, público y pacientes
- Radiactividad natural
- Radiactividad artificial
- Dosimetría
- Física de la Salud

Informática médica y matemáticas

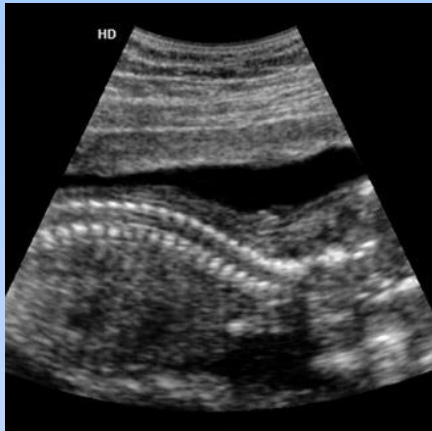
- Informática médica
- Telemedicina
- Sistema de archivo y transmisión de imágenes (PACS)
- DICOM
- Reconstrucción tomográfica
- Laboratorio avanzado digital de imágenes

Imagen médica

Técnicas de imagen

ultrasonidos (ecografía)

proyectiva



tomográfica



MRI

resonancia magnética nuclear



radiografía

proyectiva



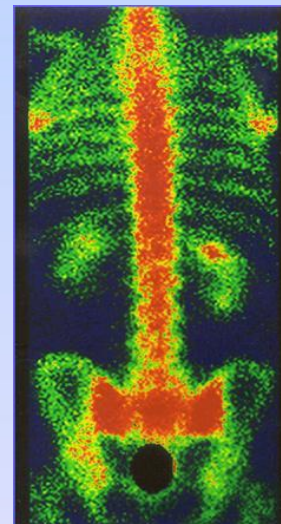
CT (TAC)

tomográfica



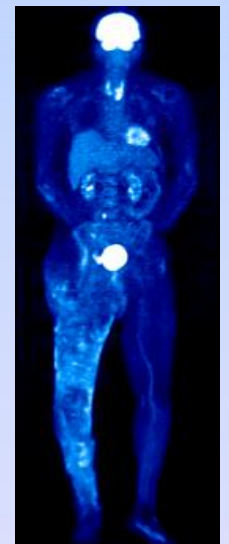
gammagrafía

proyectiva


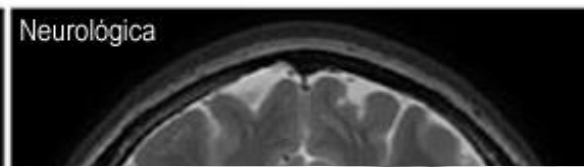



SPECT/PET

tomográfica



¿y cuál es mejor?

	Cardiovascular	Neurológica	Gráfica	Aplicaciones
US				Observación fetal Órganos intenos Cardiovascular
MRI				Sist Musculoesk Cardiovascular Cáncer Desorden funcional
RX				Fracturas óseas Lesión articular
CT				Lesión interna Cardiovascular Mineralización
SPECT/ PET				Actividad metab: Cáncer Enf. Neurológica Cardiovascular

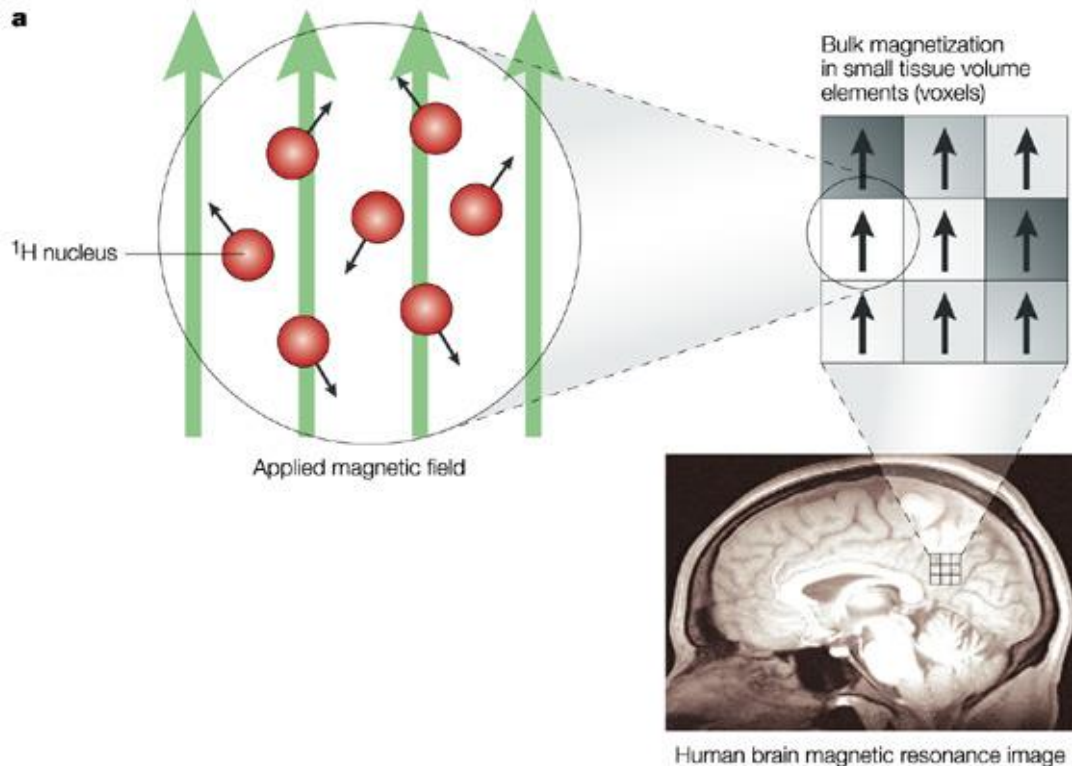
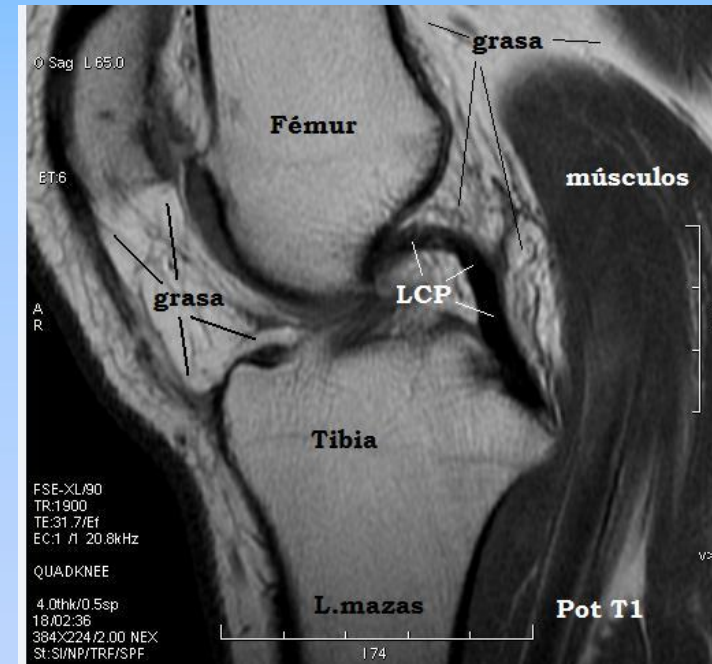
Ecografía

- No ionizante
- Transductor emite ultrasonidos (2-18MHz)
- Recepción del eco, zonas de separación
- Formación de imagen (atenuación, tiempo, frecuencia)



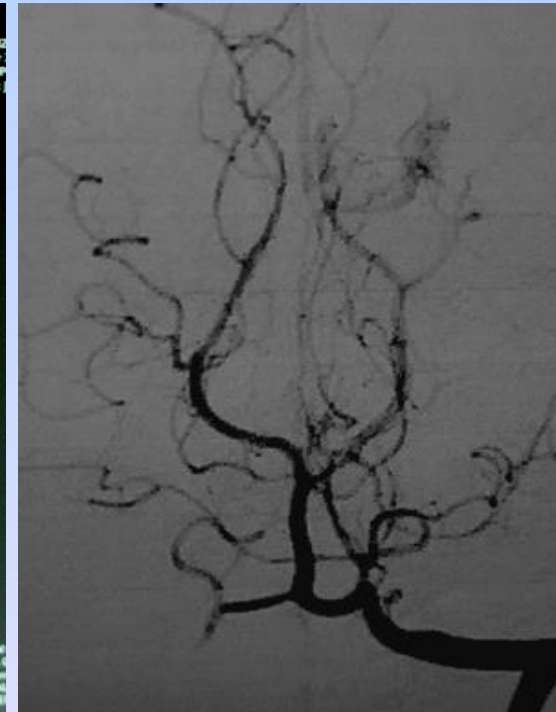
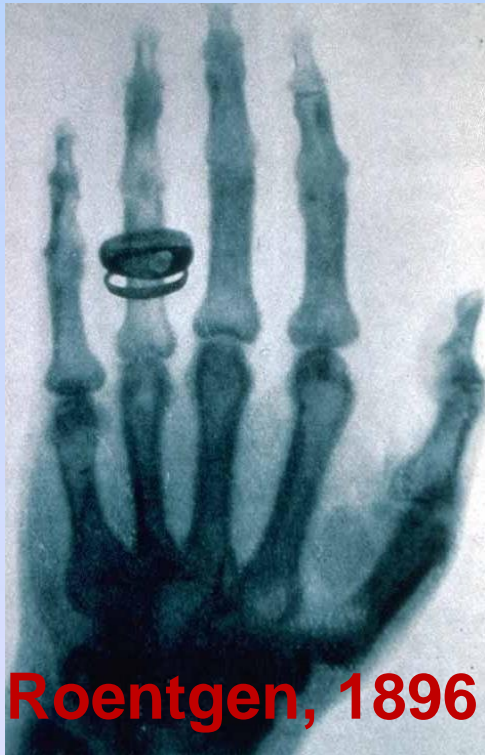
RMN (Resonancia Magnética Nuclear)

- No ionizante
- Altos campos magnéticos
- Relajación nuclear



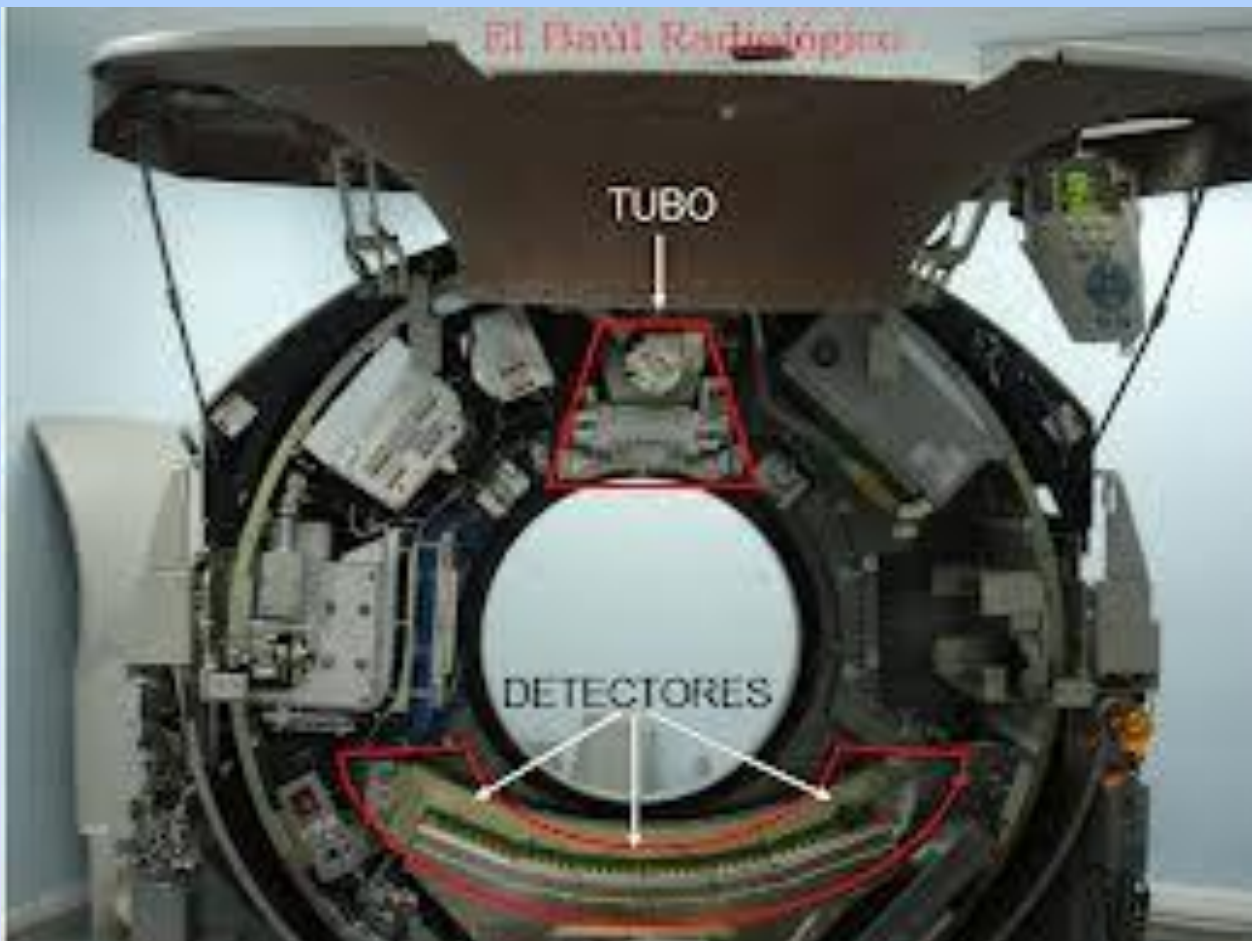
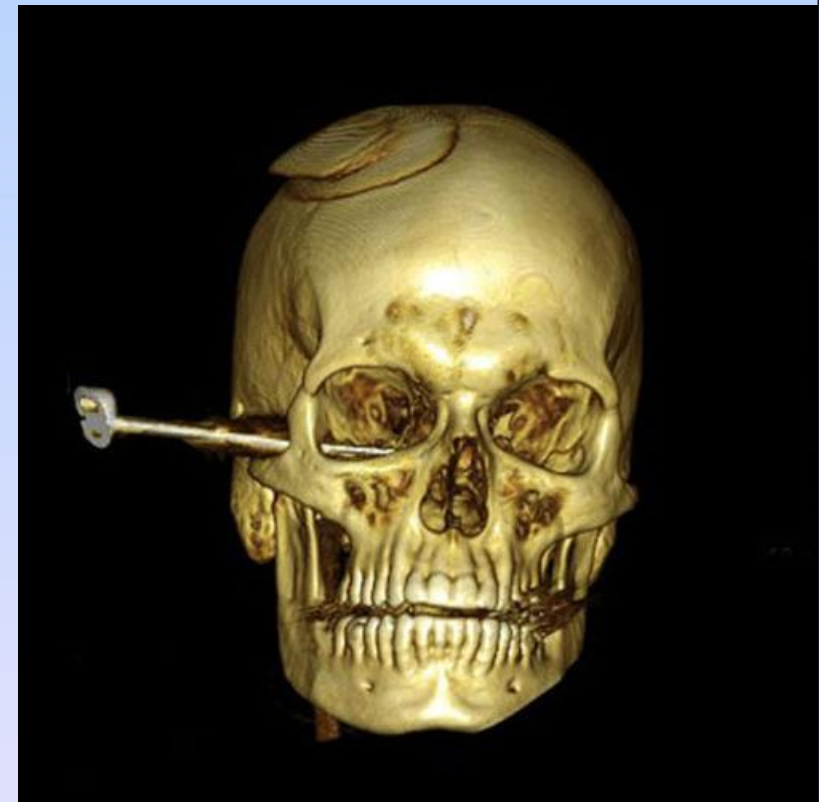
Rayos X, mamografía, angiografía

- Ionizantes: Rayos X
- Atenuación de los RX en los tejidos, dependiendo de su densidad.

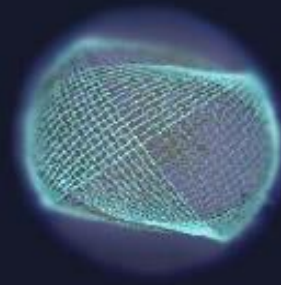


Rayos X: TAC (Tomografía Axial Computerizada)

- ❖ Alta dosis al paciente
(equivalente a varios años de radioactividad natural)



PET (Positron Emission Tomography)



Loading



±1

±2

±3

±4

±5

Aceleradores de producción de isótopos radioactivos

- ❑ Producción de isótopos de vida corta
- ❑ Aceleración de partículas cargadas



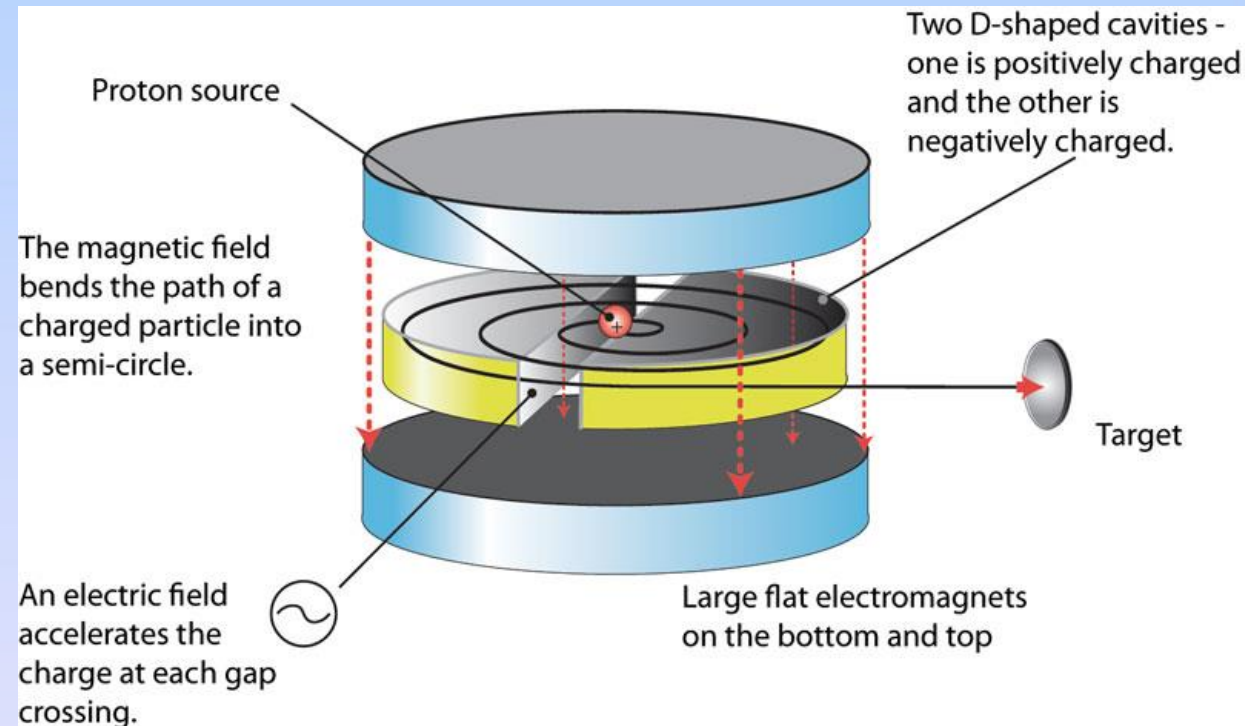
haz colisiona con un blanco



elemento atómico se transforma en otro inestable

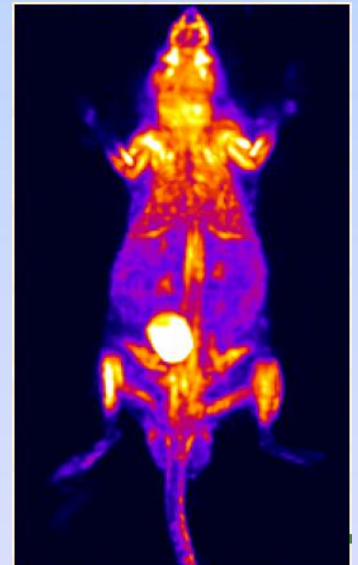
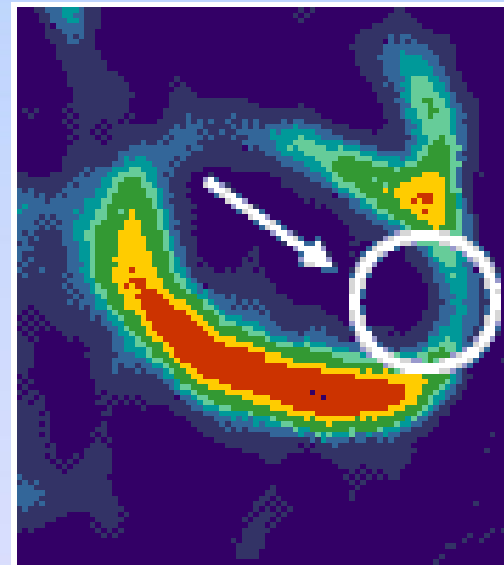
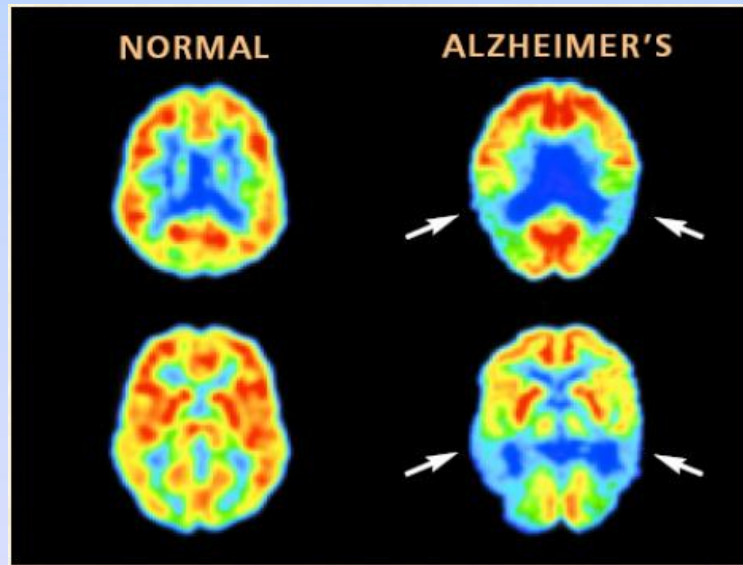
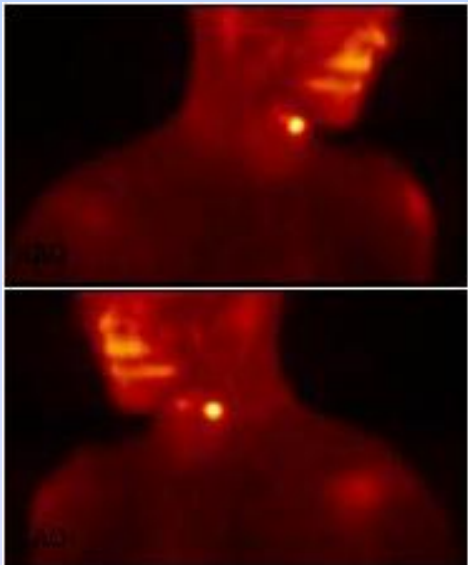


radiactividad

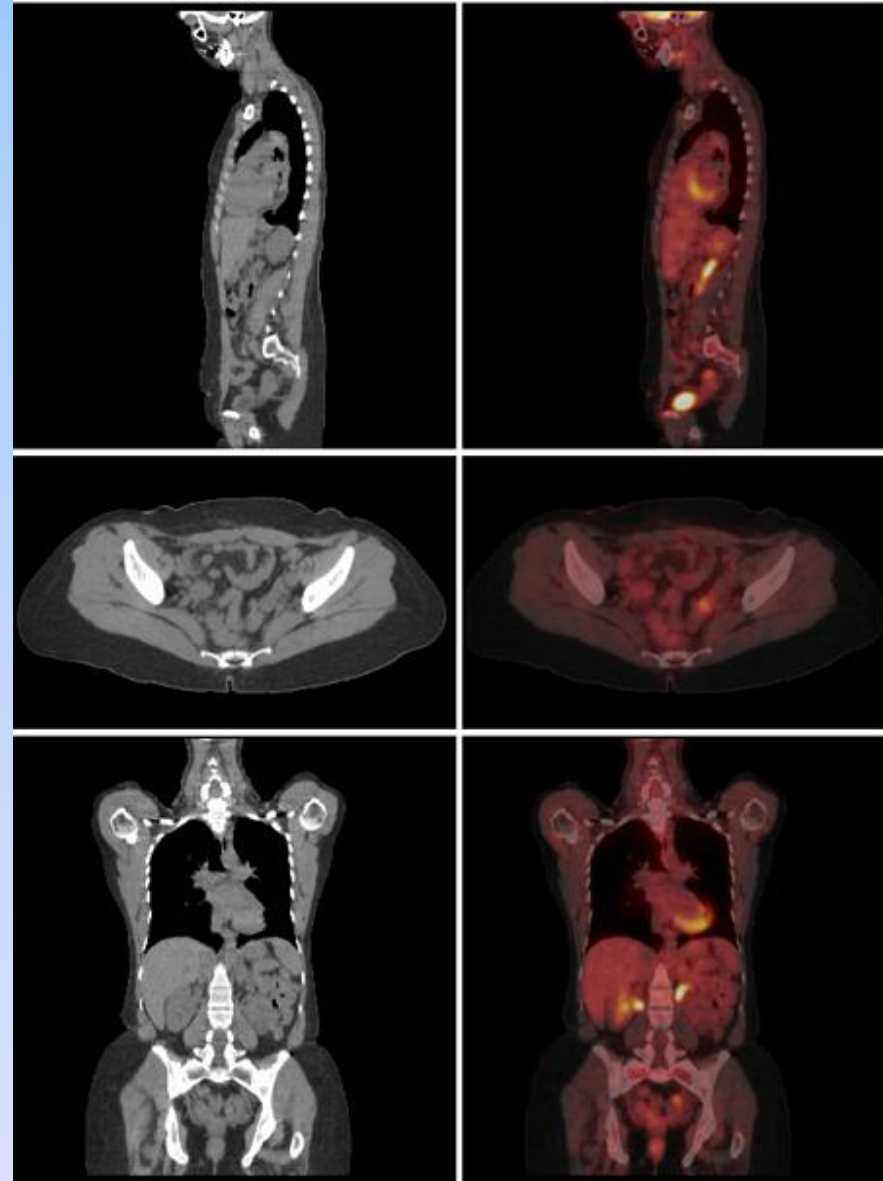
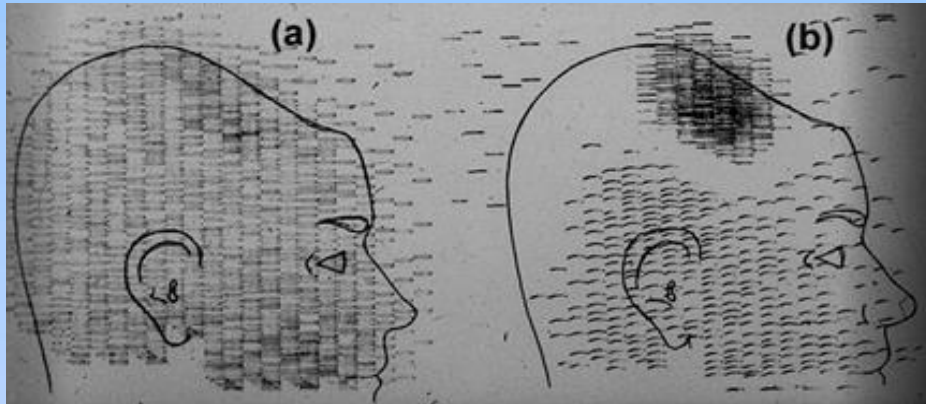


PET: aplicaciones

- Oncología: detección de tumores
- Neurología: detección de actividad cerebral
- Cardiología: determinación de viabilidad
- Investigación: farmacología, invest. biomolecular



PET-TAC



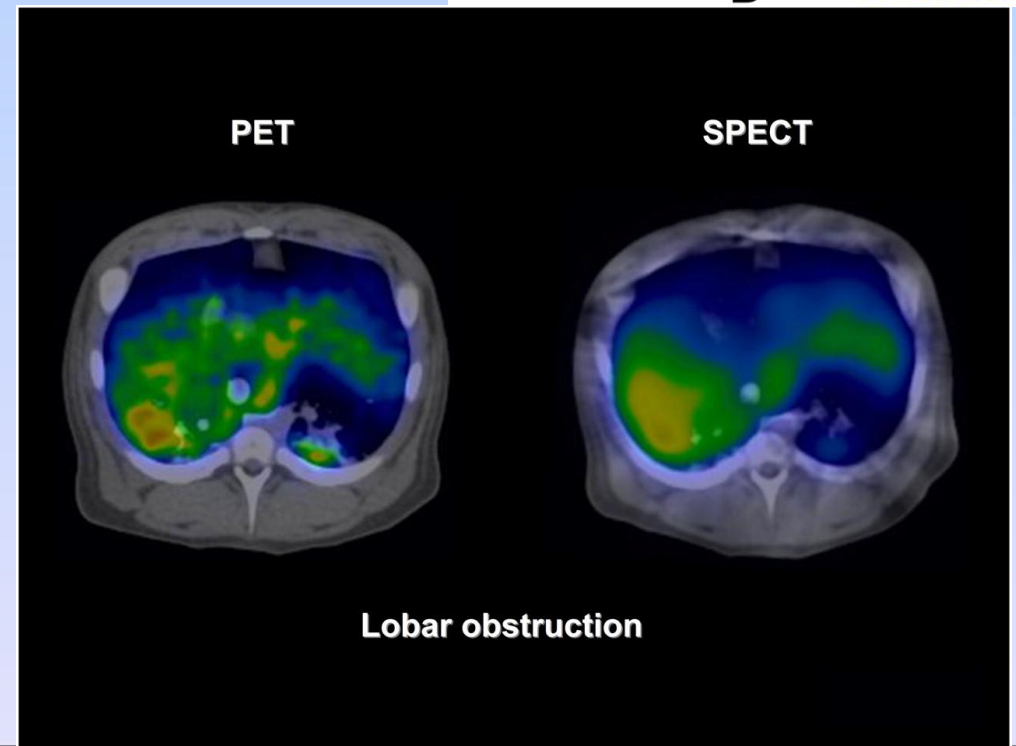
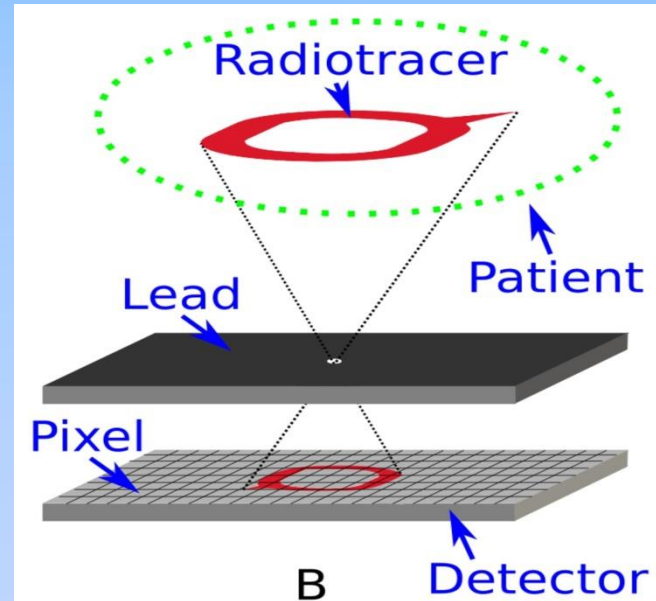
SPECT

Tomografía computarizada de emisión monofotónica

PET: $^{18}\text{F} \rightarrow e^+ \rightarrow \gamma \gamma$

SPECT: $^{99\text{m}}\text{Tc} \rightarrow \gamma$ (+ agujero)

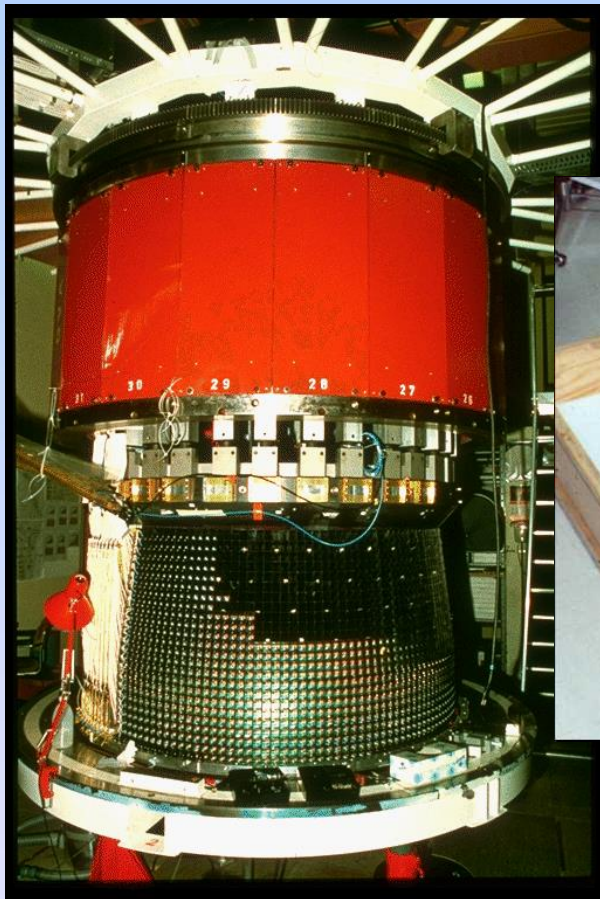
➤ Más sencillo y económico, pero menos preciso
90% de las imágenes médicas de medicina nuclear son SPECT



Física de partículas e imagen médica

La parte fundamental de los detectores son los cristales centelleadores + fotomultiplicadores: por primera vez usados en física de partículas

ECAL de L3 (LEP/CERN):
cristales de BGO



CRYSTAL CLEAR COLLABORATION

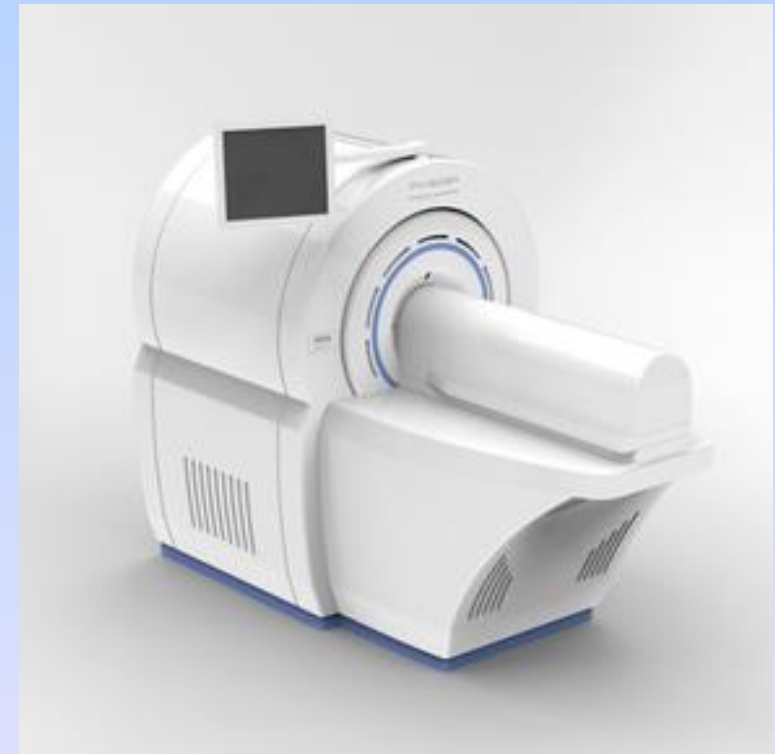


Anillo de cristales para PET



cristales

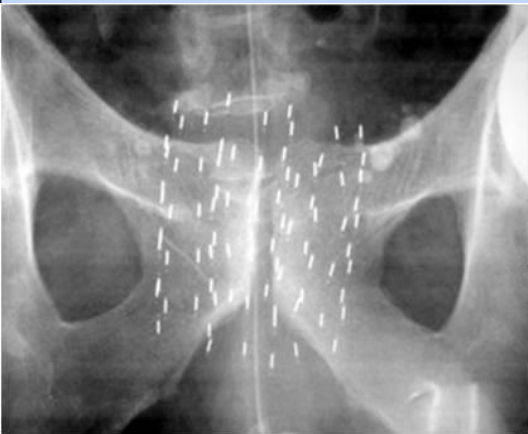
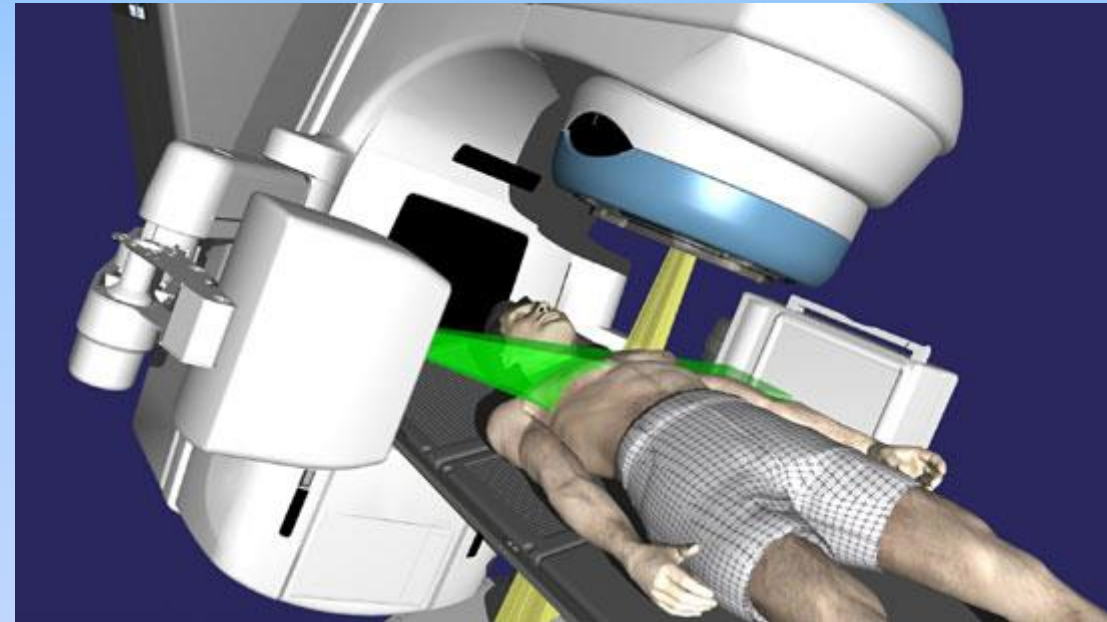
fotomultiplicadores



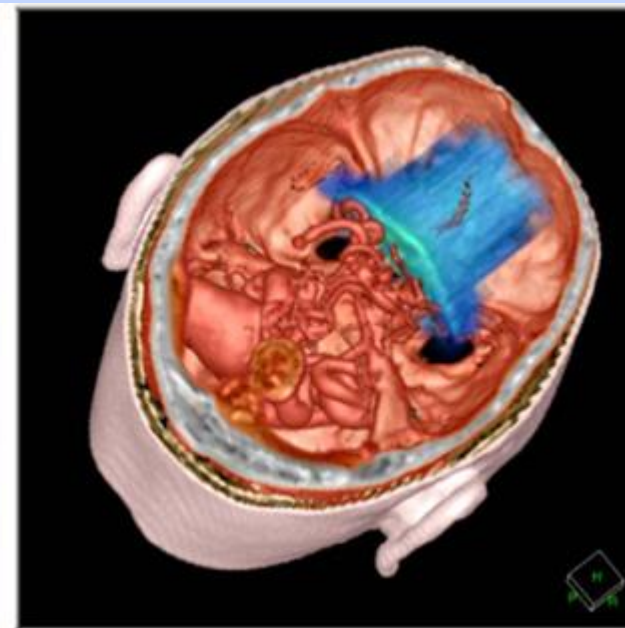
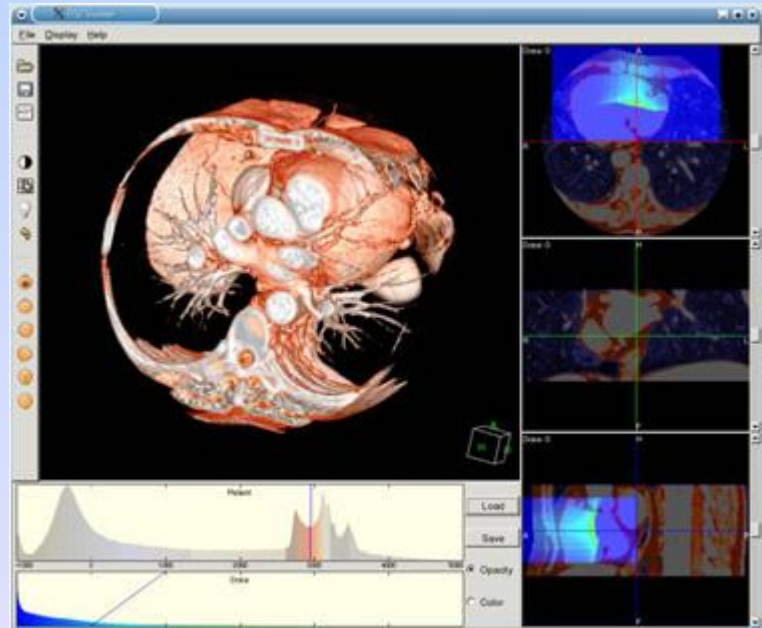
Radioterapia

Radioterapia

La radioterapia utiliza partículas de alta energía, tales como los **rayos X**, **rayos gamma**, **rayos de electrones** o de **protones** o **iones**, para eliminar o dañar las células cancerosas

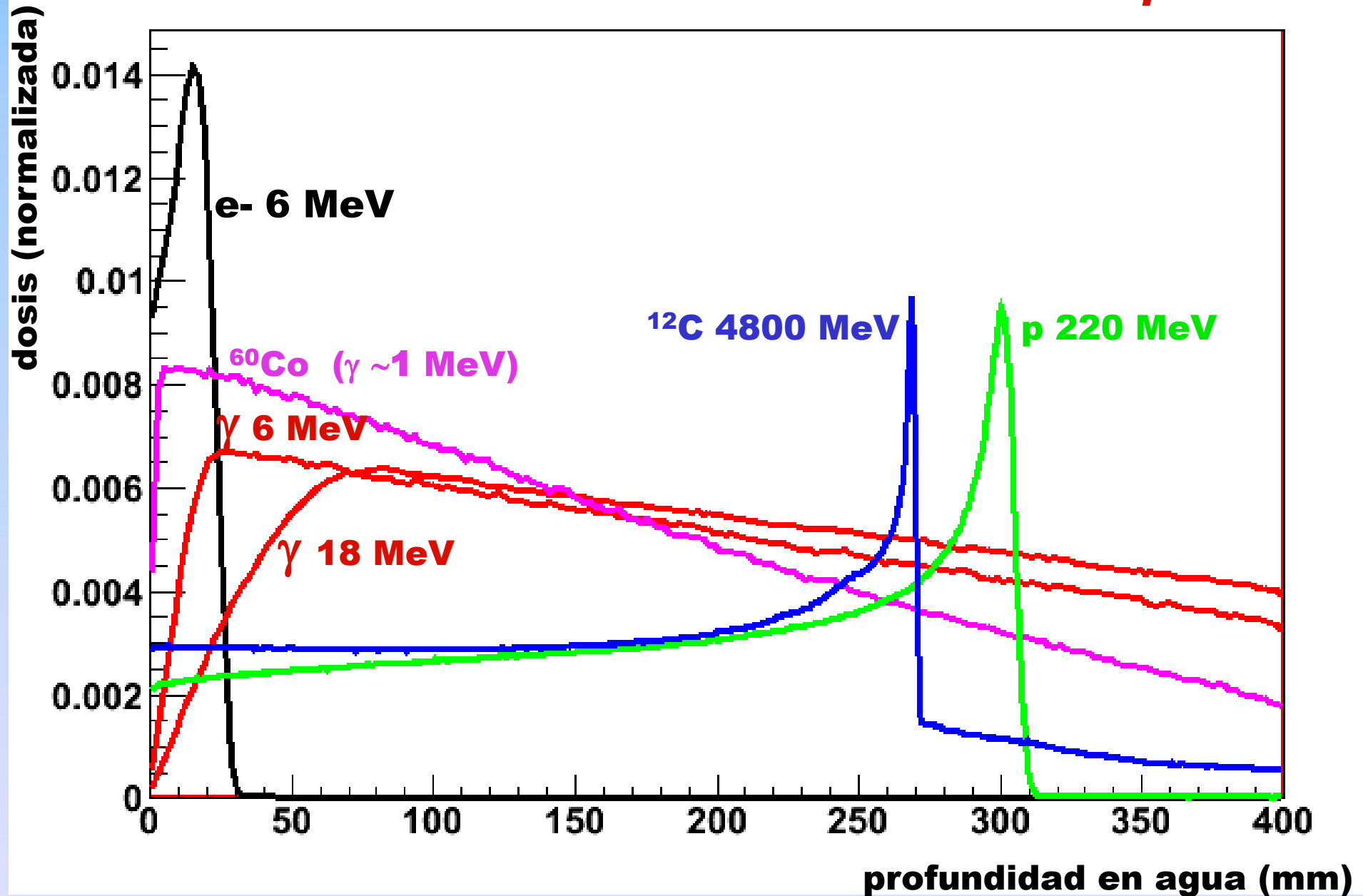


Implante de I-125



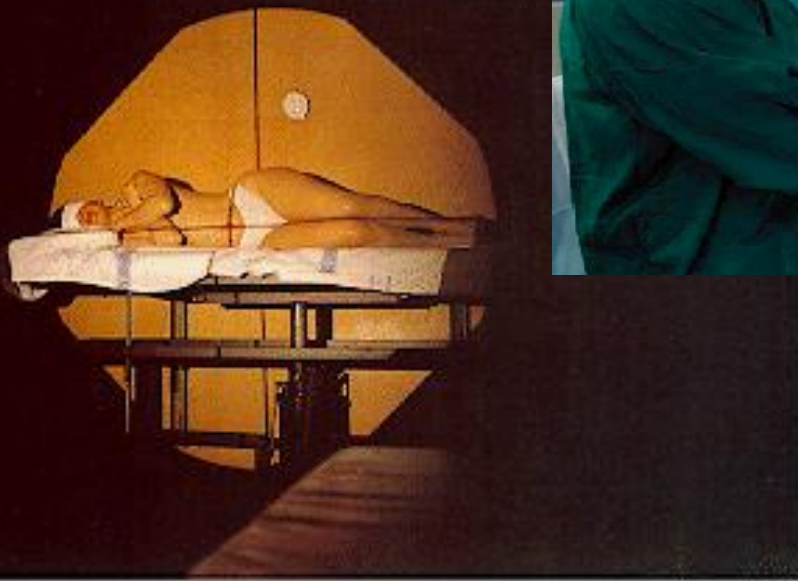
Radioterapia con haces (teleterapia)

Penetración de los haces de Radioterapia



Accelerador de electrones (4-22 MeV)

- Penetración superficial
- ❑ Tratamientos de piel
- ❑ Radiación intraoperativa (con el paciente abierto)



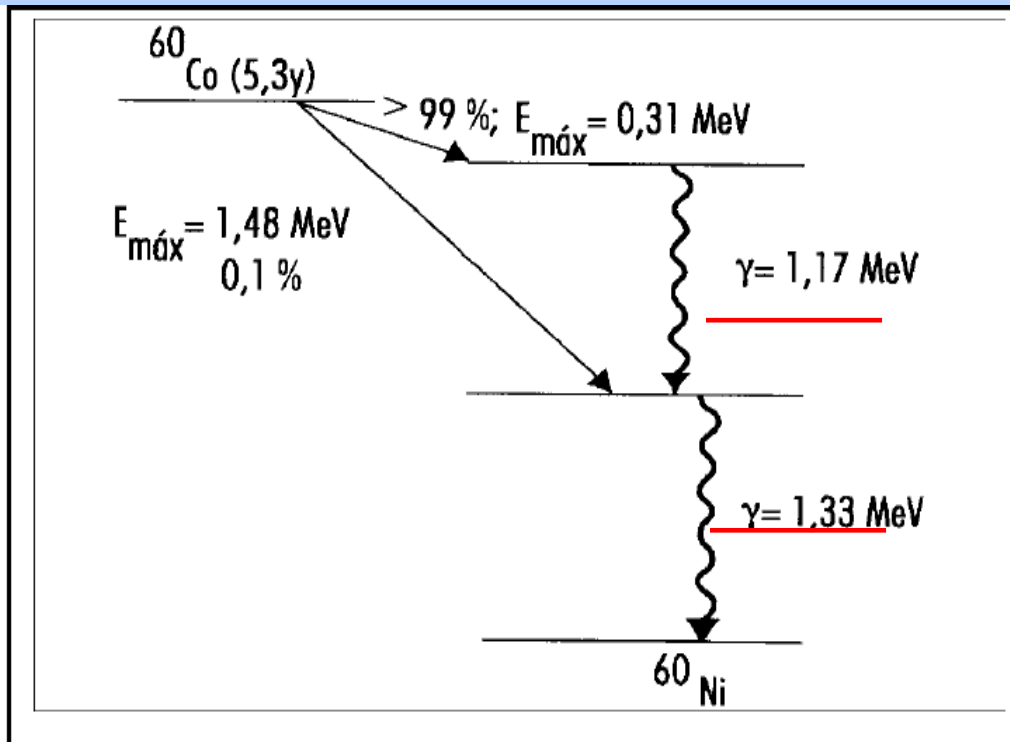
Squamous cancer nose



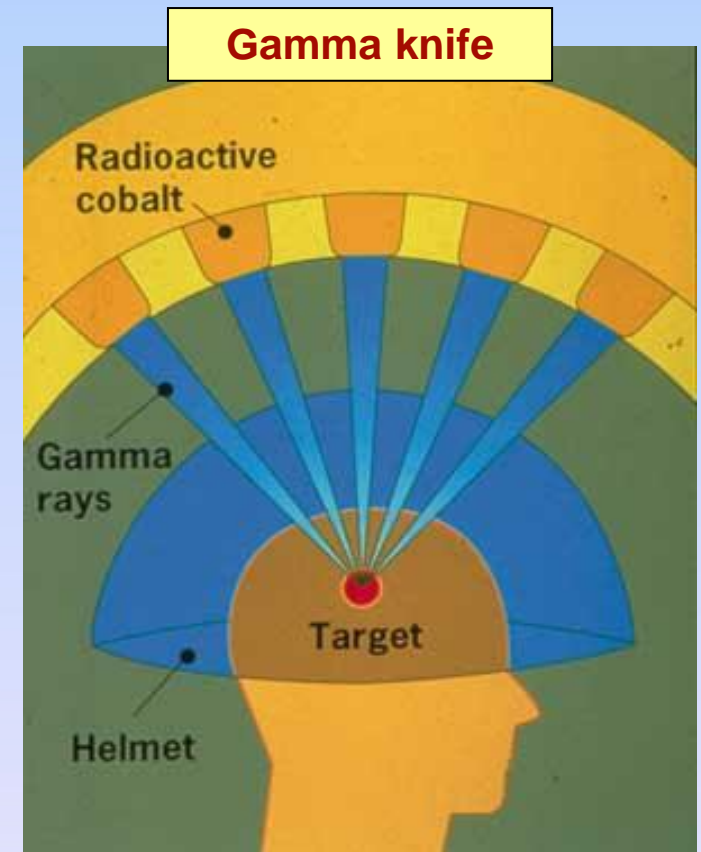
Three months after HDR radiation

Cobalto 60 (gammas 1.17 MeV & 1.33 MeV)

- ☺ Simple de usar y mantener
- ☹ No penetra mucho
- ☐ Uso principal: gamma knife

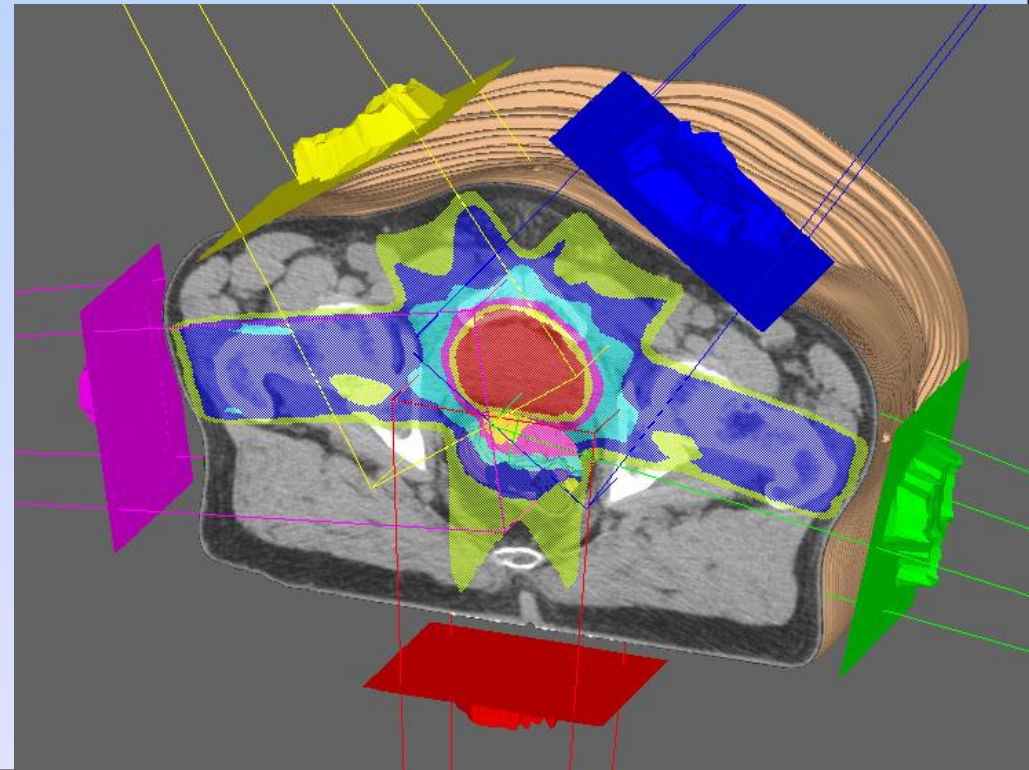


Esquema de desintegración del cobalto-60



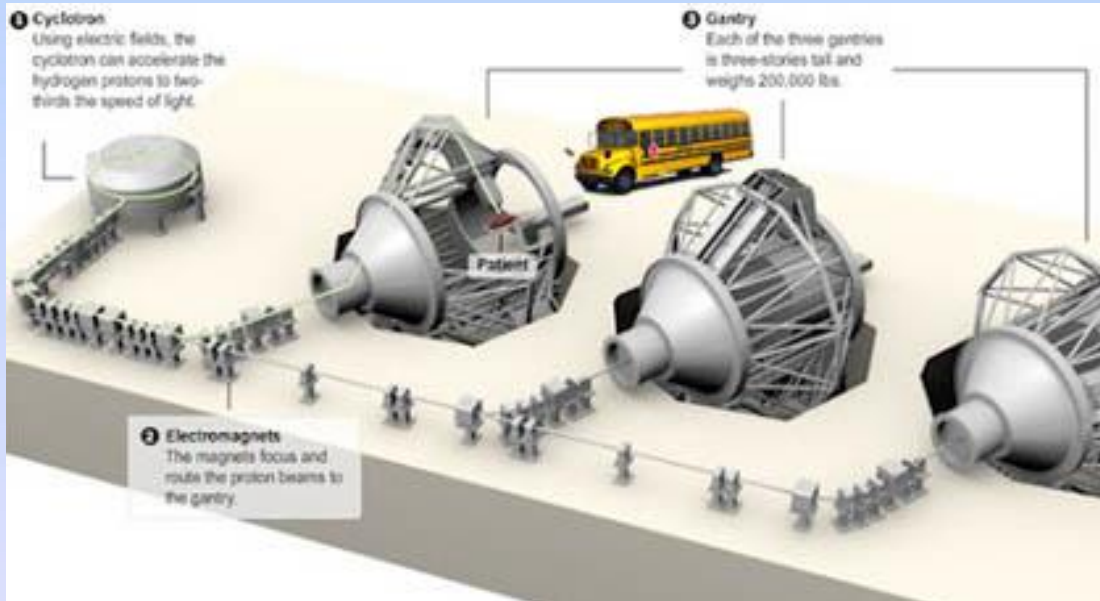
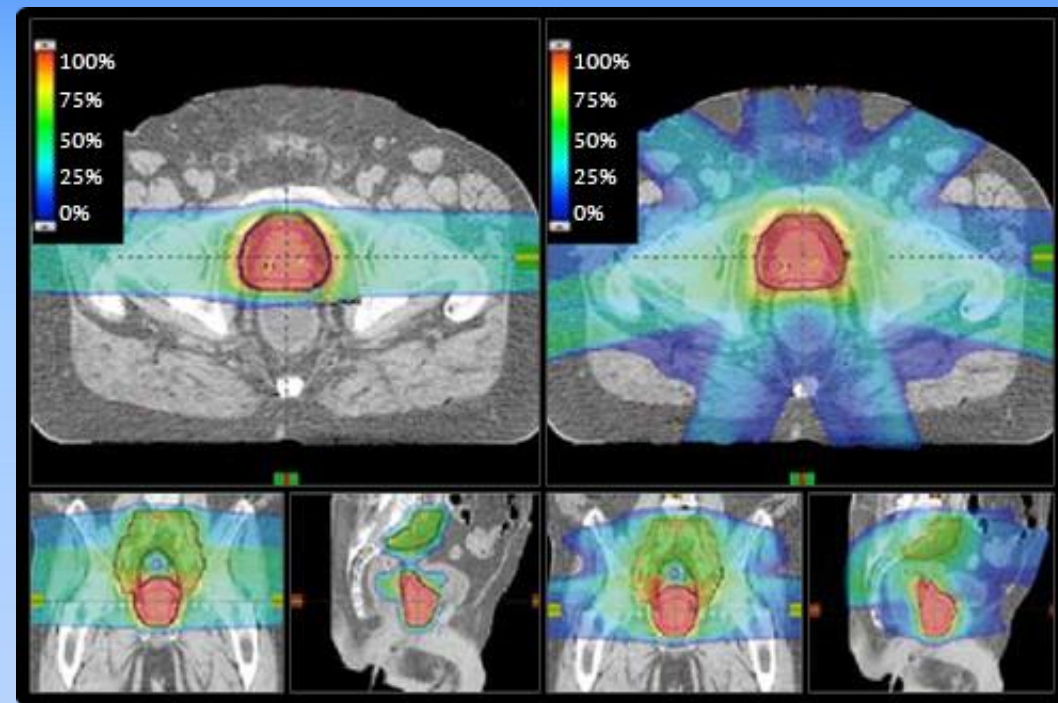
Acelerador de rayos gamma (6-25 MeV)

- ☺ Buena penetración
- ☹ Dosis es mayor en los primeros cm's
- ☺ Mayor dosis en el blanco usando muchos haces en diferentes direcciones
- ☐ Técnicas más avanzadas:
 - ☐ RT conformada, IMRT, tomoterapia, IGRT



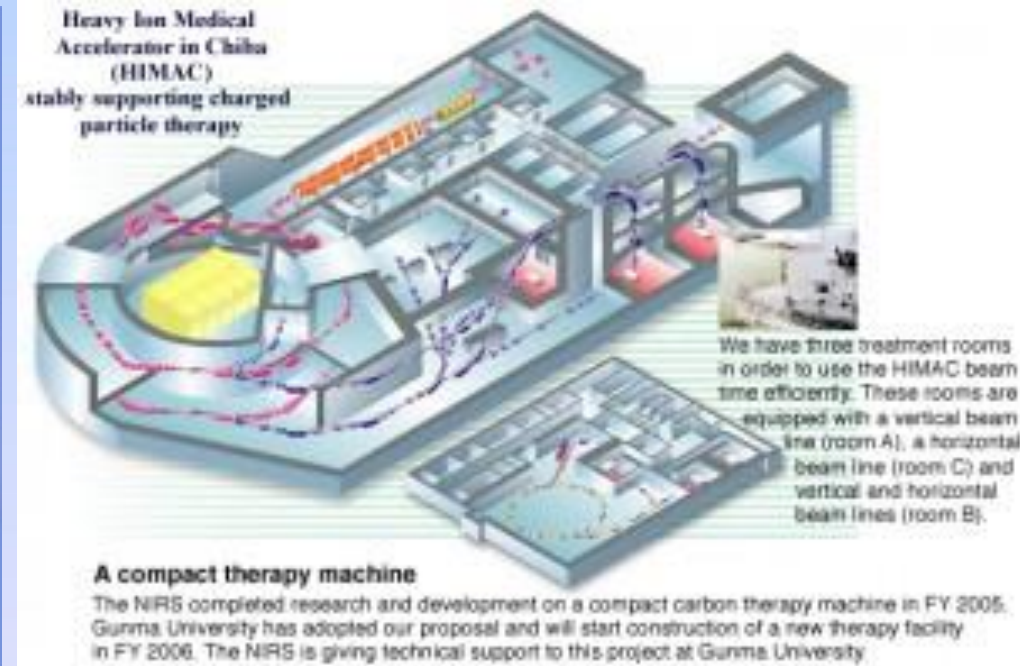
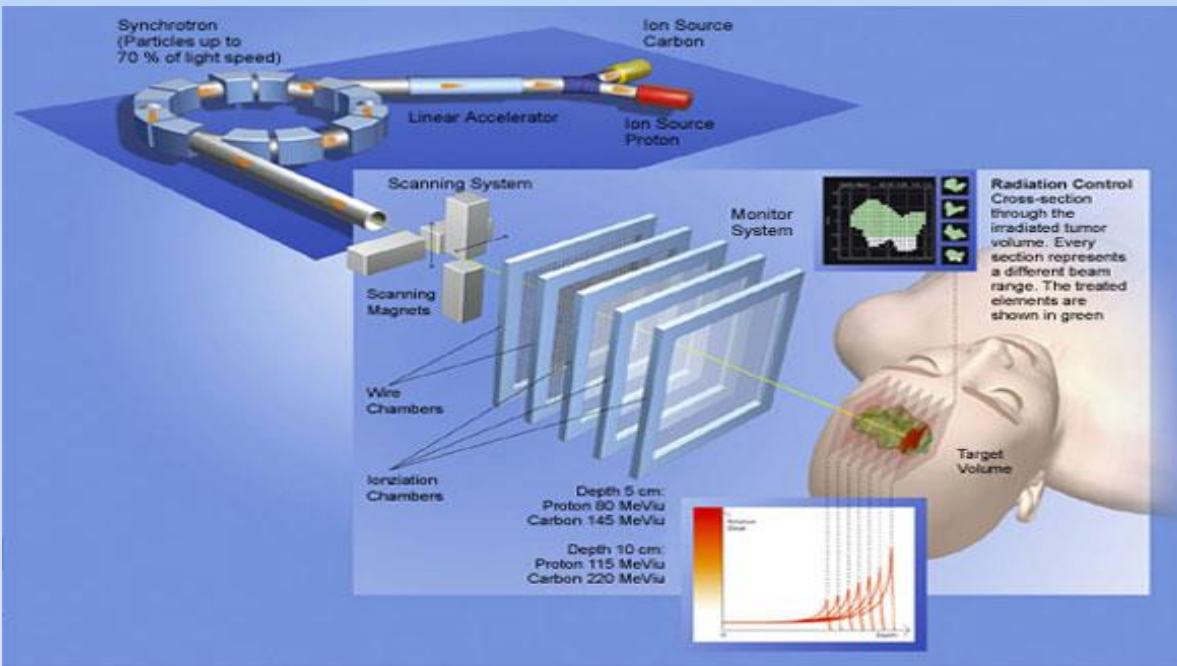
Aceleradores de hadrones

- ☺ Dosis depositada principalmente a la profundidad deseada
- ☺ Mejor factor biológico (= mayor daño a las células)
- ☹ Máquinas muy complicadas y caras



Iones de carbono (<4800 MeV) vs Protones (<230 MeV)

- ☺ Mayor dosis a la profundidad deseada
- ☺ Mejor factor biológico
- ☹ Más daño detrás del tumor debido a los fragmentos (^{16}O , ^{15}N , ^{11}C ,...)
- ☹ Mucho más caro



Física de Partículas y aceleradores en medicina

Los aceleradores usados en medicina usan la misma tecnología desarrollada para los aceleradores de Física de Partículas
+11.000 aceleradores hoy en día

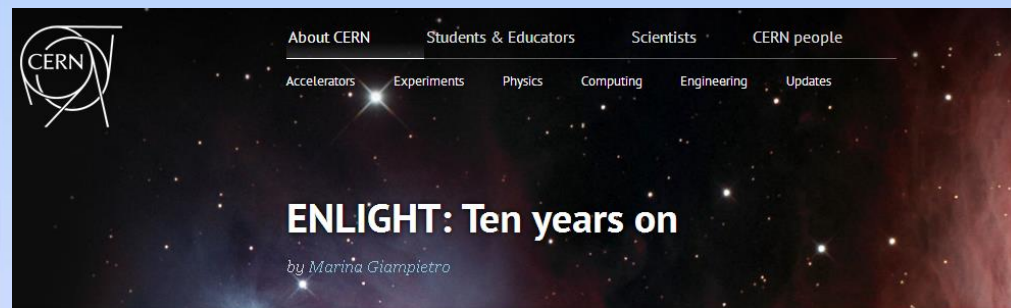
Nuevos proyectos en el CERN:

ENLIGHT:

European Network for Light Ion Therapy

BioLEIR:

**Flexible accelerator: $p \rightarrow {}^{16}\text{O}$
Hasta 440 MeV/u**



Posted by Cian O'Luanaigh on 29 Nov 2012. Last updated 16 Jan 2013, 17:02.
Voir en français



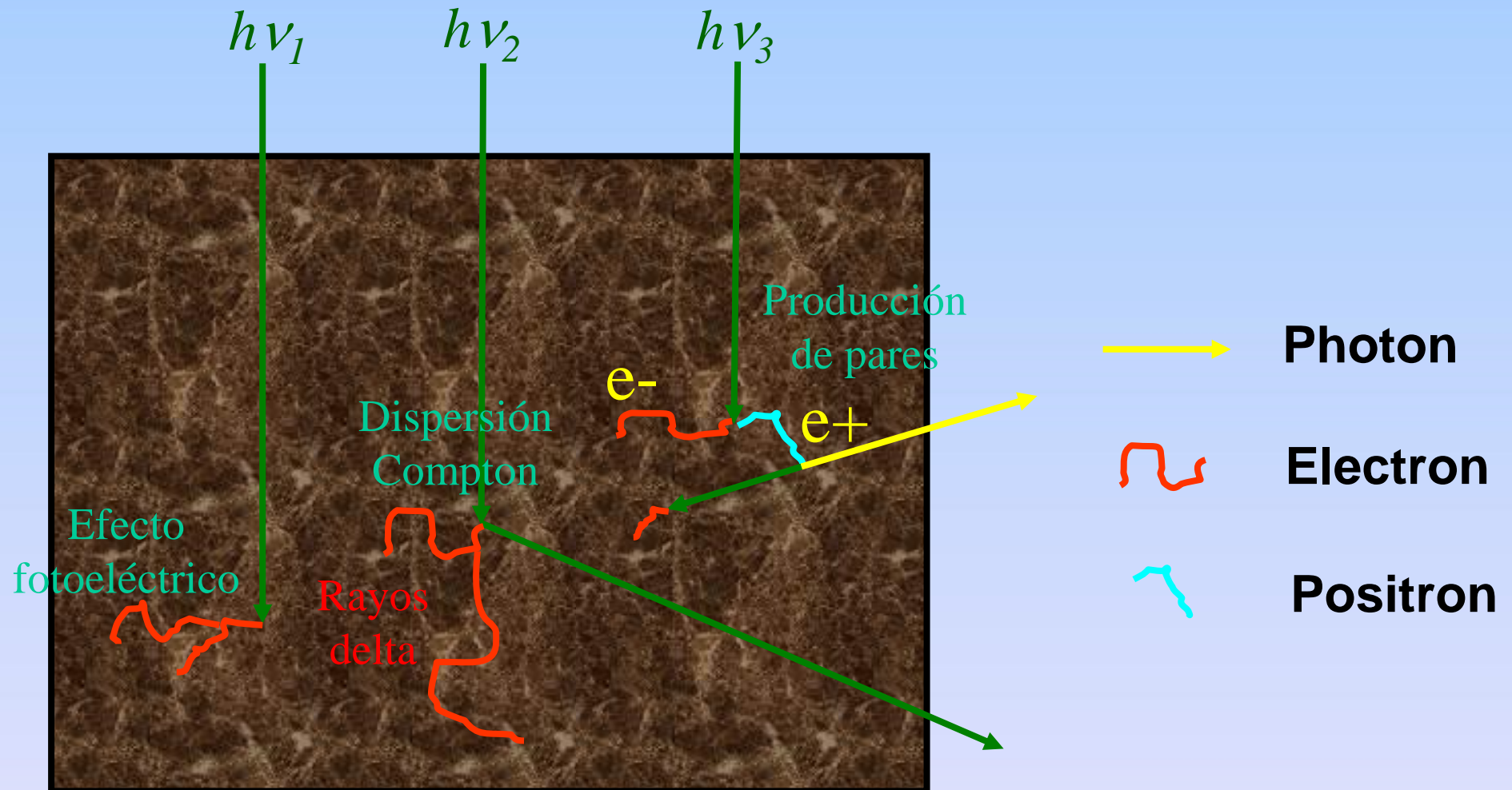
ENLIGHT brings together clinicians, physicists, biologists, computer scientists and engineers to share knowledge on hadrontherapy (Image: ENLIGHT)



***Simulación del efecto
de la radiación***

Simulación de la radiación con el método Monte Carlo

Fotones

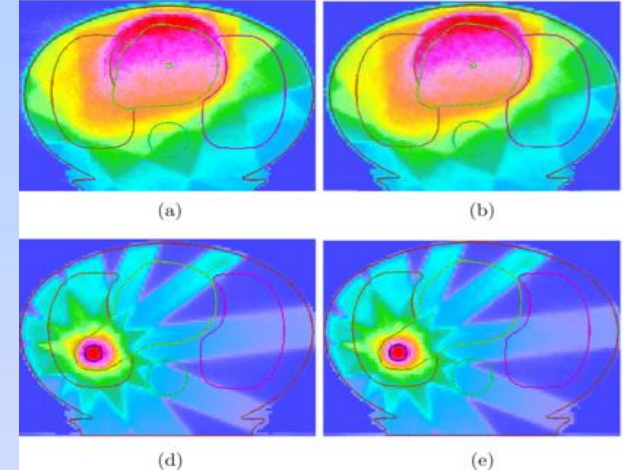


Uso simulación MC en Radioterapia

El uso de Monte Carlo en radioterapia está creciendo cada año:

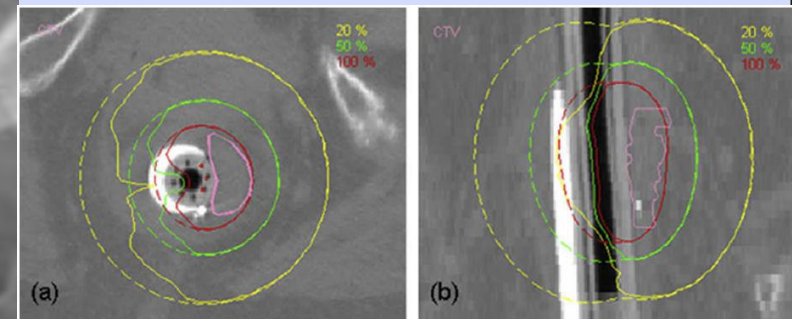
Teleterapia:

- ✓ Cálculo de dosis
- ✓ Nuevos algoritmos de planificación (TPS)
- ✓ Calibración de cámaras de ionización
- ✓ Protocolos dosimétricos
- ✓ Diseños de ingeniería:
 - ✓ Aceleradores, cámaras de ionización, ...



Braquiterapia:

- ✓ Calibración de semillas
- ✓ Cálculo de dosis

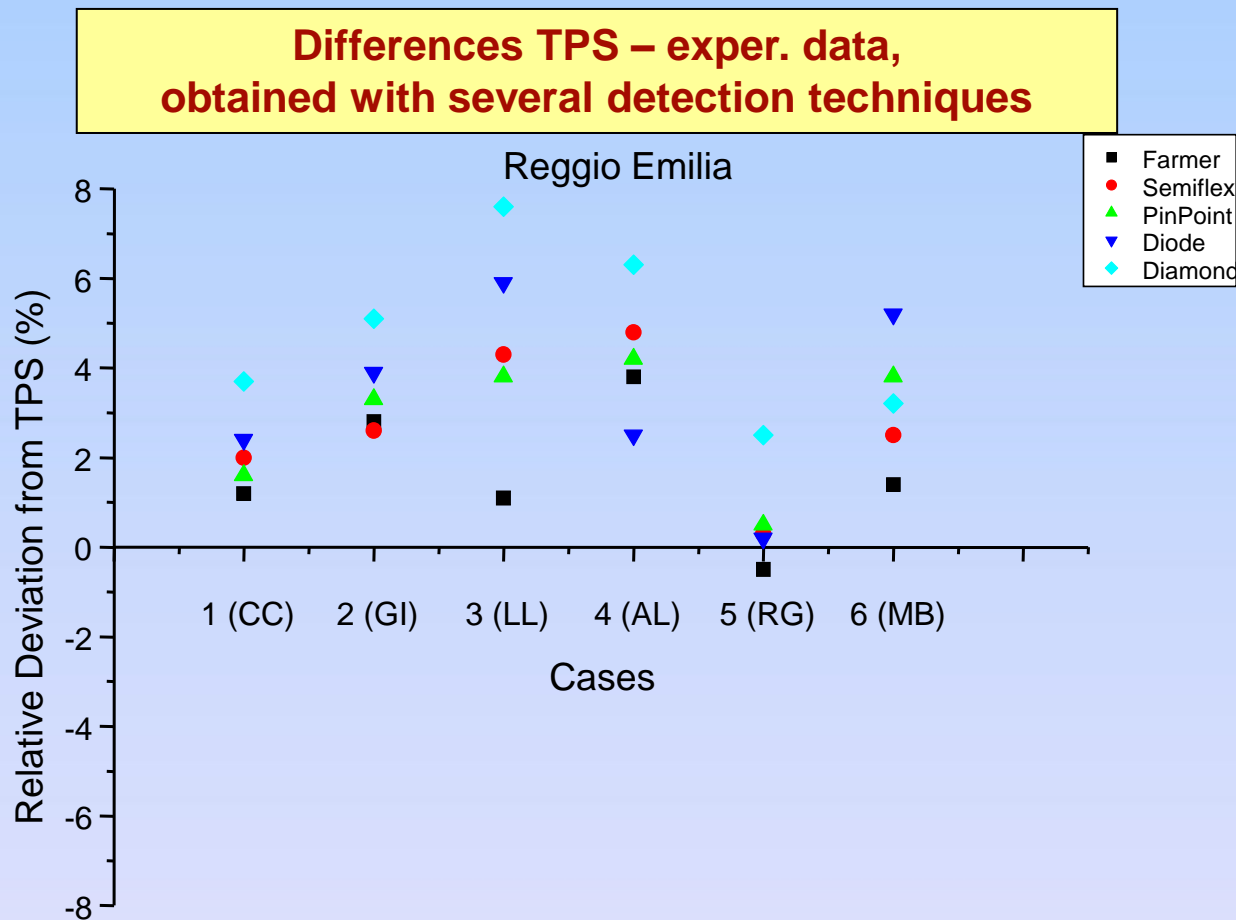


Uso de simulación Monte Carlo vs TPS

Physics:

TPS: Rápido pero poco preciso (algoritmos analíticos)

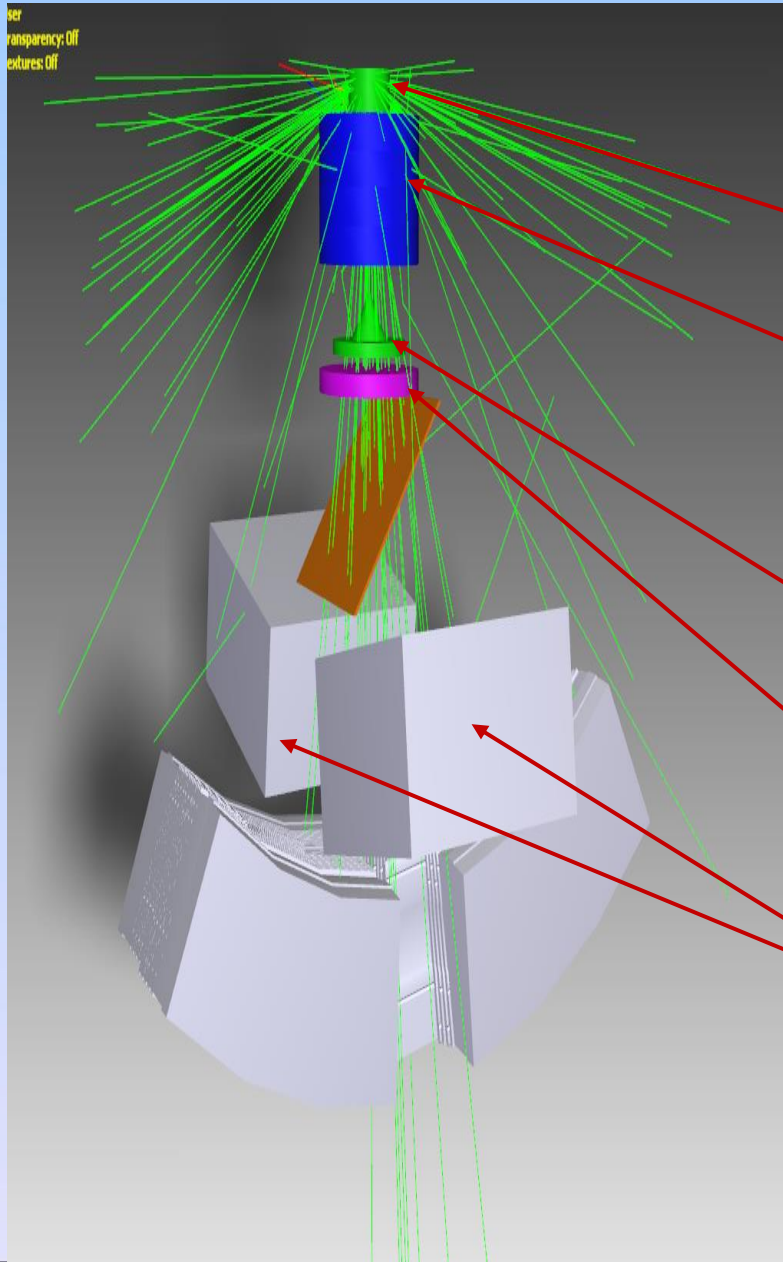
MC: Lento pero modelos de física detallados



Estudios muestran 10%
error en dosis = 20%
en Probabilidad de
Control del Tumor

Diseño de aceleradores

Los constructores de aceleradores usan cálculos de Monte Carlo para entender el comportamiento de nuevos componentes



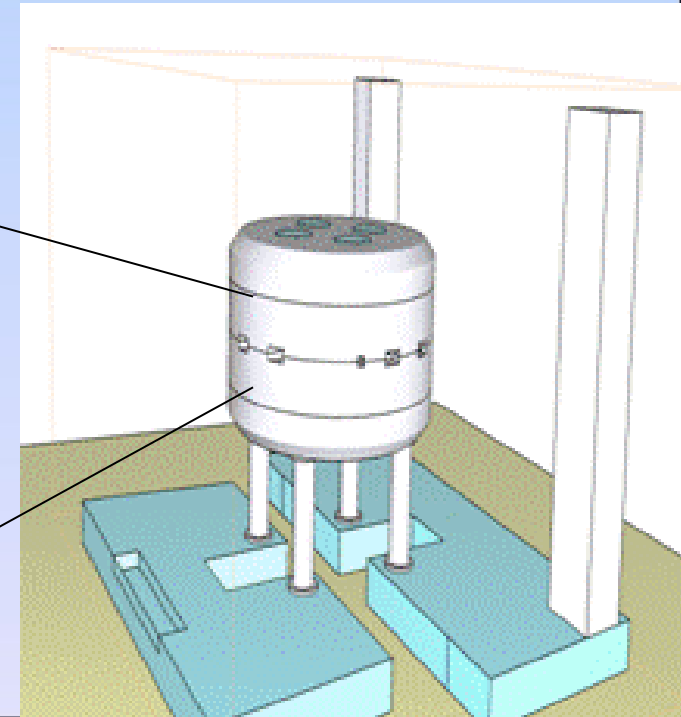
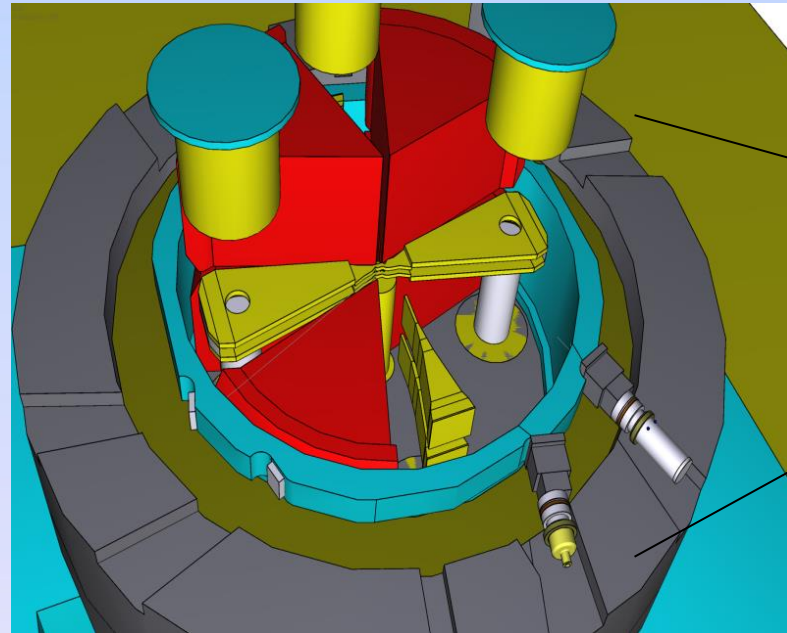
Número de partículas después de cada componente del acelerador (%)

	gamma	e-	e+
Blanco:	58.9	0.41	0.0008
Colimador primario:	8.85	0.064	0.0002
Filtro aplanador:	7.95	0.058	0.0002
Monitor:	7.76	0.044	0.0001
Mandíbulas:	1.32	0.006	0.00002

Uso simulación MC en Radioprotección

Monte Carlo calcula con precisión la dosis producida por cualquier radiación:

- TAC
 - Estudios de blindajes
 - Caracterización de fuentes radiactivas
 - Dosimetría
 - Definición de protocolos de protección
- MC es necesario donde no se pueden tomar medidas experimentales



Uso simulación MC en imagen médica

Es uno de los campos donde se usa más a menudo:

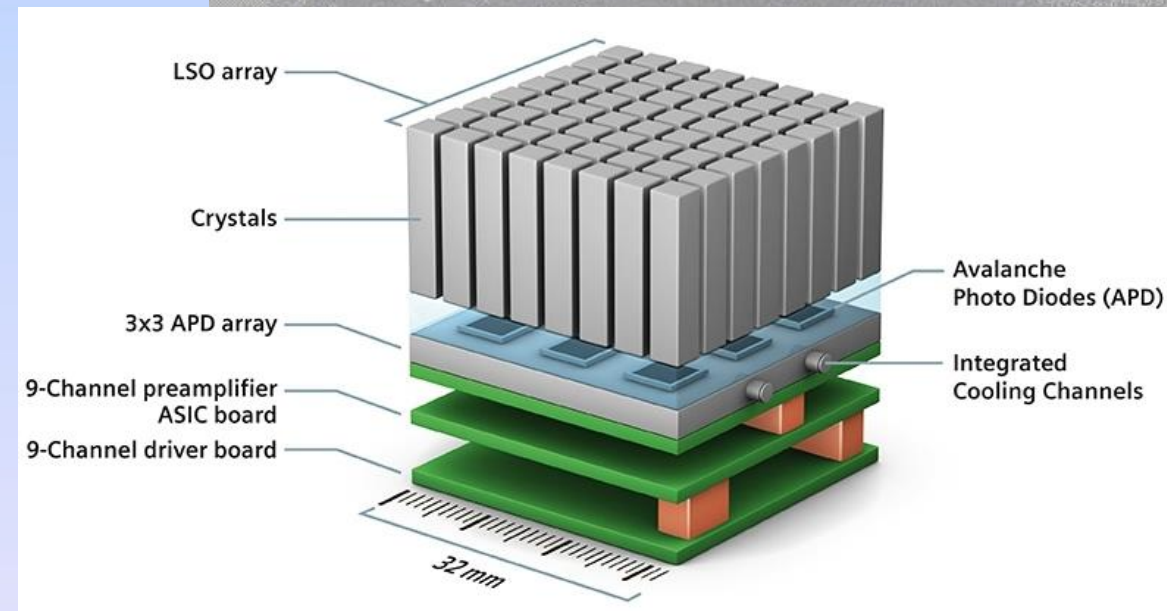
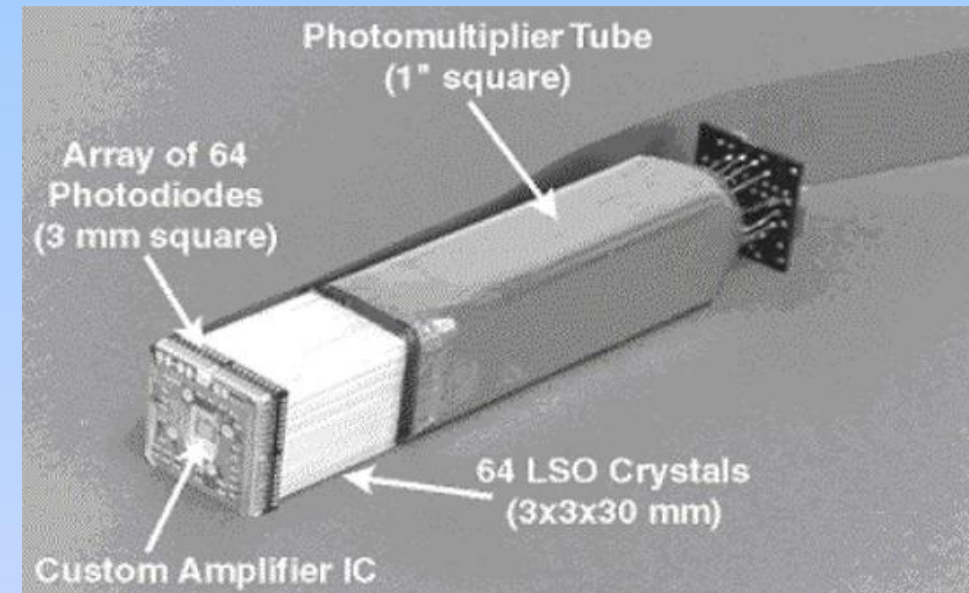
- Primer uso del método Monte Carlo en Física Médica (1963, Zerby)

Diseño de detectores:

- Entender cada componente
- Optimizar el diseño geométrico
- Optimizar la señal electrónica

Reconstrucción de imágenes:

- Optimización de algoritmos
- Correcciones por dispersión y atenuación



Física de Partículas y uso de Monte Carlo en Física Médica

Los códigos de simulación Monte Carlo que se usan en Física Médica se han desarrollado originalmente para Física de Partículas

GLAST *Gamma-ray Large Area Space Telescope*

Geant 4

Geant4 is a toolkit for the simulation of the passage of particles through matter. It has been developed and maintained by a world-wide Collaboration of approximately 100 scientists.

Borexino *at Gran Sasso Laboratory*

Its application areas include high energy physics, astrophysics and nuclear physics experiments, medical, accelerator and space science studies.

ESA XMM *X-ray telescope*

CMS *at LHC, CERN*

BaBar *at SLAC*

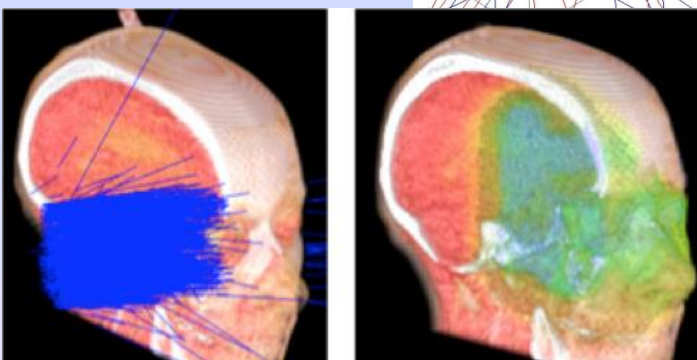
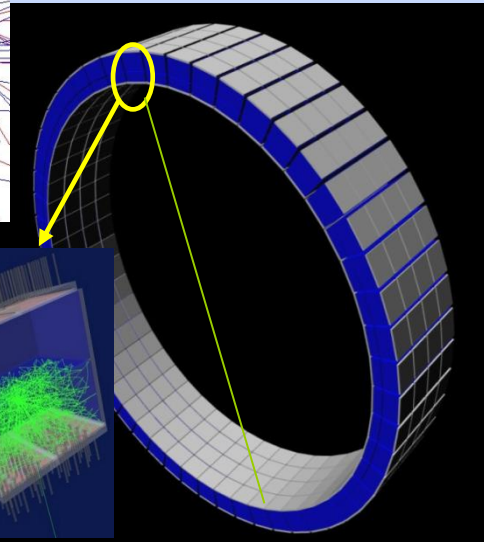
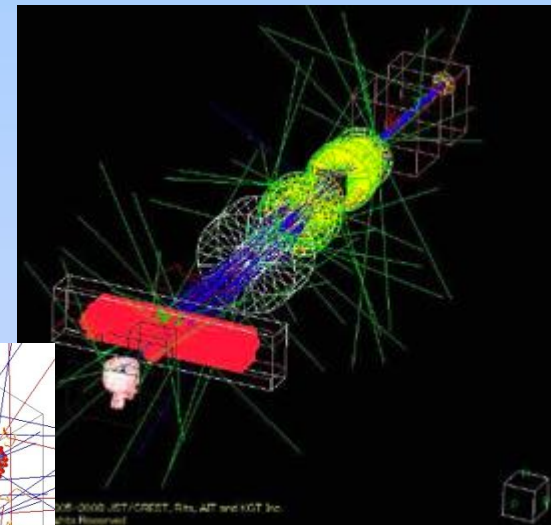
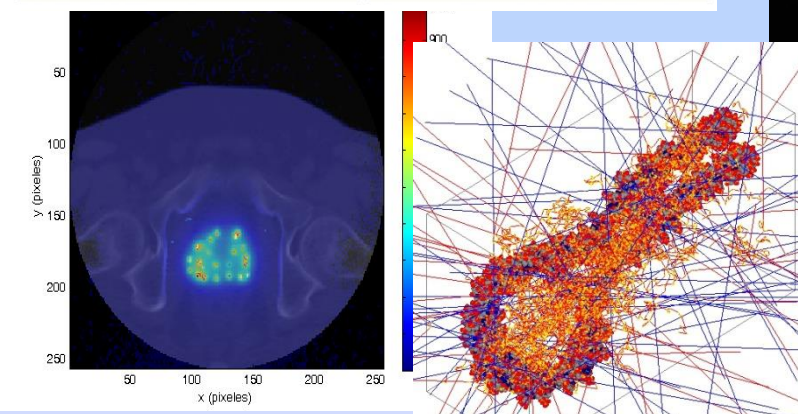
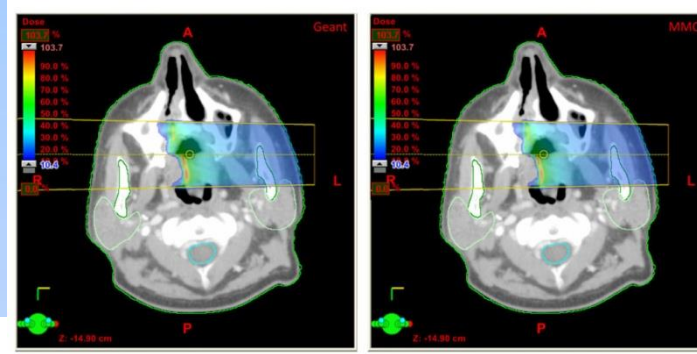
High energy μ
Courtesy of LS

Photon attenuation
Courtesy of the Italian Nat. Inst. for Cancer Research

Neutrons
Courtesy of EDS

Stopping α
absorption nuclear deexcitation
Geant4 Exp. data

Geant4 exploits advanced Software Engineering techniques and Object Oriented technology to achieve transparency of physics implementation.



Resumen

La física tienen multitud de aplicaciones en medicina:

- Diagnóstico por imagen
- Tratamiento de enfermedades
- Protección radiológica

Muchas de las técnicas y aparatos que se utilizan en Física Médica tienen su origen en la Física de Partículas:

- Detectores para imagen médica
- Aceleradores para combatir el cáncer
- Simulación Monte Carlo para diseño de aparatos y cálculos de los efectos de la radiación

Centros de Física de Partículas como el CERN le dan una importancia creciente a la Física Médica

- ✓ CERN ha creado en 2014 una oficina dedicada a aplicaciones médicas
- ✓ Acelerador ISOLDE para producción de isótopos
- ✓ Acelerador LEIR para experimentos de biomedicina
- ✓ Proyecto ENLIGHT para desarrollos en terapia con iones