

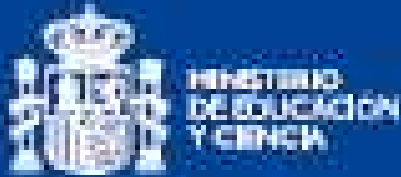


***El IFIMED:  
Investigación en  
Imagen y Aceleradores  
aplicada a la Medicina***

Prof. J. Bernabéu es catedrático de Física Teórica de la Univ. Valencia.

Su trabajo de investigación se ha centrado en la física de partículas y astropartículas. Ha publicado más de 200 artículos en revistas científicas y un libro sobre la interacción unificada electrodébil. Ha desarrollada una intensa actividad divulgadora con un gran número de charlas y artículos. Ha sido miembro de comités relacionados con la vida científica en España y Europa. En la actualidad forma parte del comité de expertos del Museo de las Ciencias de Valencia, es Presidente de la Comisión Científica gestora del Laboratorio de Canfranc, y es coordinador del proyecto del IFIMED.

# Instituto de Física Médica (IFIMED): Investigación en Imagen y Aceleradores aplicada a la Medicina



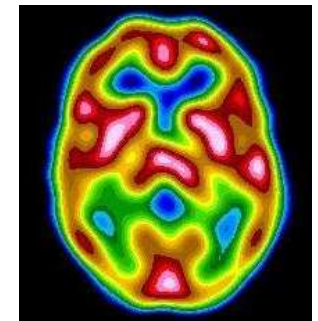
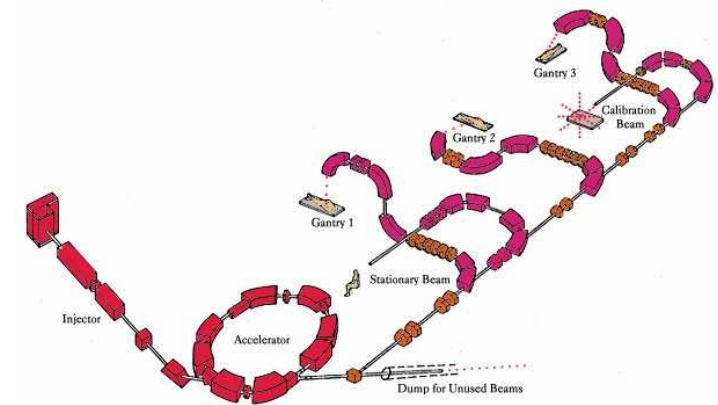
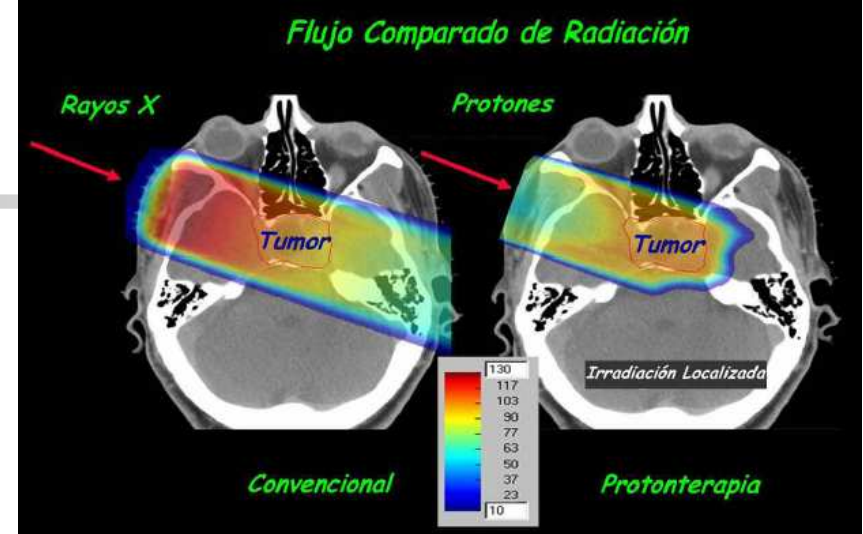
José Bernabéu  
Coordinador del Proyecto  
IFIC-Valencia



IATA, 3 de abril de 2007

# Índice

- Antecedentes.
  - Radiación y Partículas.
  - Aceleradores.
    - Radioterapia.
    - Diagnóstico por imagen.
- Imagen Médica de frontera.
- Protonterapia.
- El Instituto de Física Médica (IFIMED):
  - Motivación y objetivos.
  - Investigación y desarrollo.
  - Servicios.
  - Formación.



# Antecedentes

- 1895: Los rayos X son descubiertos por Wilhelm Röntgen.
- Max von Laue demuestra que los rayos X son ondas electromagnéticas producidas por interacción de "rayos catódicos" con un material.
- 1896: Se publica un libro sobre métodos de diagnóstico por rayos X para la tuberculosis.
- Victor Despeigne aplica los rayos X para curar un tumor maligno.
- 1897: El profesor Freund trata un cáncer de piel mediante rayos X.
- 1900-1922: Planck, Einstein y Compton postulan y demuestran que la radiación electromagnética está formada por "cuantos" de energía: los fotones.



# Radiación y Partículas

- Los rayos X son emitidos por la redistribución de electrones atómicos con energías superiores al KeV.
- Los rayos gamma están constituidos de fotones de energía superior al MeV, implicando procesos nucleares: una fuente muy potente es el Radio, estudiado por Pierre y Marie Curie.
- Hacia 1930, los constituyentes de la materia eran electrones y protones. Los neutrones fueron detectados en 1932.
- Los núcleos atómicos se identificaron formados por protones y neutrones.
- Se han empleado rayos gamma para la terapia del cáncer desde que disponemos de Radio.
  - Una fuente sencilla y eficaz, el Cobalto 60, se comenzó a usar después de la 2ª Guerra Mundial.



# Aceleradores para la Medicina



- 1932: Ernest Lawrence construye el primer ciclotrón en Berkeley, EE.UU.
  - Se reconocen en el ciclotrón aplicaciones importantes, como la producción de isótopos para la investigación biológica y médica.
  - 1938: La madre de Lawrence es la primera paciente de cáncer tratada con éxito con el ciclotrón.
- En Medicina, los aceleradores juegan un papel doble: terapia e imagen.
  - Para la terapia, la radiación producida por el acelerador es la que se aplica directamente para el tratamiento.
  - Para la imagen:
    - Se obtiene una imagen cuando la radiación generada por el acelerador se transmite a través del paciente y se analiza.
    - En los aceleradores se producen sustancias radiactivas que se inyectan al paciente. Tras la desintegración, la radiación emitida se detecta.

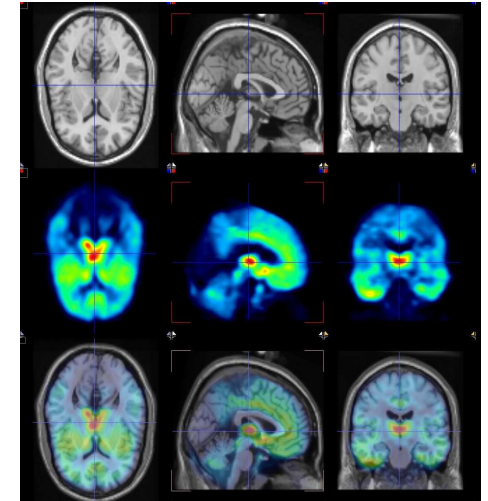
# Radioterapia



- En la U.E. se diagnostican alrededor de un millón de casos de cáncer por año: 42% con mal generalizado, 58% con mal localizado.
- Del 45% de tratamientos con éxito, la cirugía lo consigue en un 22%, la radioterapia en un 12%, la combinación de las dos en un 6%, y la quimioterapia en un 5%.
- En Radioterapia, para obtener mejores tasas de curación, la irradiación del tumor ha ido aumentando cambiando las fuentes de radiación: de los rayos X a los rayos gamma de MeVs, y finalmente fotones de alta energía generados por un acelerador lineal de electrones.
- El problema de la radioterapia es cómo maximizar la dosis aplicada al tumor sin dañar los tejidos sanos colindantes.
  - Con radiación electromagnética, esto sólo es posible hasta cierto punto.
  - Con partículas pesadas como los protones, es posible concentrar la energía depositada en la región del tumor.

# Imagen médica de frontera

- La imagen por resonancia magnética nuclear (RMN), la tomografía axial computerizada (TAC), la tomografía por emisión de fotones (SPECT), y la tomografía por emisión de positrones (PET) permiten hoy la visualización y la evaluación, *in-vivo* y de forma no invasiva, de la morfología y funciones del cuerpo humano.



- Imagen Funcional:

Para este tipo de imágenes se inyecta al paciente una sustancia marcada con un isótopo radioactivo (radio-trazador) que emite fotones. La imagen en este caso se construye detectando dichos fotones y reconstruyendo la distribución del isótopo en el cuerpo del paciente. El radio-trazador se concentrará en diferentes partes del cuerpo según el proceso metabólico para el que se prepare.

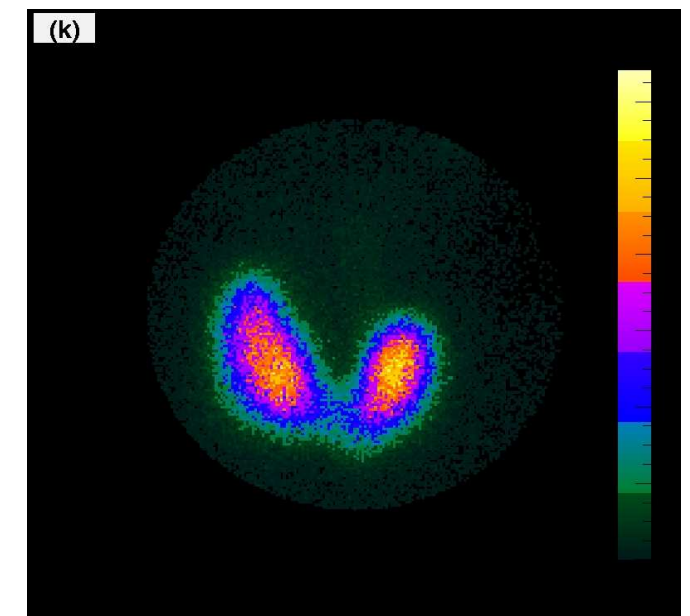
- SPECT: Se detecta un fotón cada vez. Se emplean isótopos de varias energías: 140-360 keV.

- PET: Se usa un isótopo que emite positrones que a su vez producen 2 fotones de 511 keV. Se detectan los 2 fotones en coincidencia.



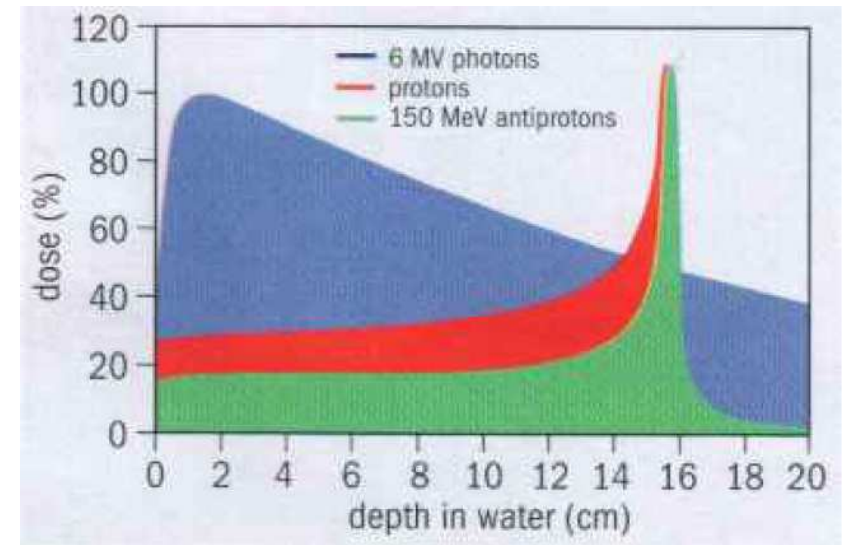
# Imagen médica de frontera

- En el IFIC hay actividad de I+D en:
  - Detectores de radiación para la Medicina: Detectores de Silicio para tecnología Compton:
    - Para una sonda intraoperativa en el diagnóstico de cáncer de próstata.
    - Para un Compton-PET de alta resolución.
  - Equipamiento y prototipos para diagnóstico:
    - Mini-cámara gamma portátil.
    - PET para pequeños animales.
  - Análisis y procesado de la señal :  
Reconstrucción de imagen médica



# Protonterapia

- Contrariamente a los fotones y electrones, los protones tienen:
  - Un recorrido bien definido.
  - Una energía que se deposita máximamente al final de la trayectoria (el pico de Bragg).
  - Un decrecimiento rápido de la dosis después del pico de Bragg.
- La profundidad del pico de Bragg depende de la energía inicial de los protones y de los tejidos que atraviesan.
- Para permitir gran flexibilidad en el tratamiento, el acelerador debe de estar acoplado a un sistema de distribución del haz llamado "gantry".
  - El gantry permite focalizar los protones sobre el tumor del paciente desde cualquier ángulo.
- En el IFIC, hay actividad de I+D en aceleradores de partículas en Física Fundamental y se ha iniciado una línea de investigación de aceleradores aplicados a la Medicina.



# Instituto de Física Médica (IFIMED)



## Investigación en Imagen y Aceleradores aplicada a la Medicina



- La Gran Instalación de Investigación en Física Médica consistirá en un Instituto para desarrollar aplicaciones de la Física de Partículas al diagnóstico y terapia de enfermedades oncológicas y neuro-degenerativas.
- Los objetivos se orientan a la I+D, a un servicio de protonterapia y de aplicaciones industriales, y a la formación.
- El IFIMED dispondrá de un acelerador de protones tipo ciclotrón de 230 MeV para
  - ✓ Un centro de protonterapia.
  - ✓ Aplicaciones científico-tecnológicas.
  - ✓ I+D en aceleradores orientados a la medicina.

# El Acelerador y su Equipamiento



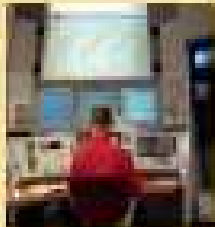
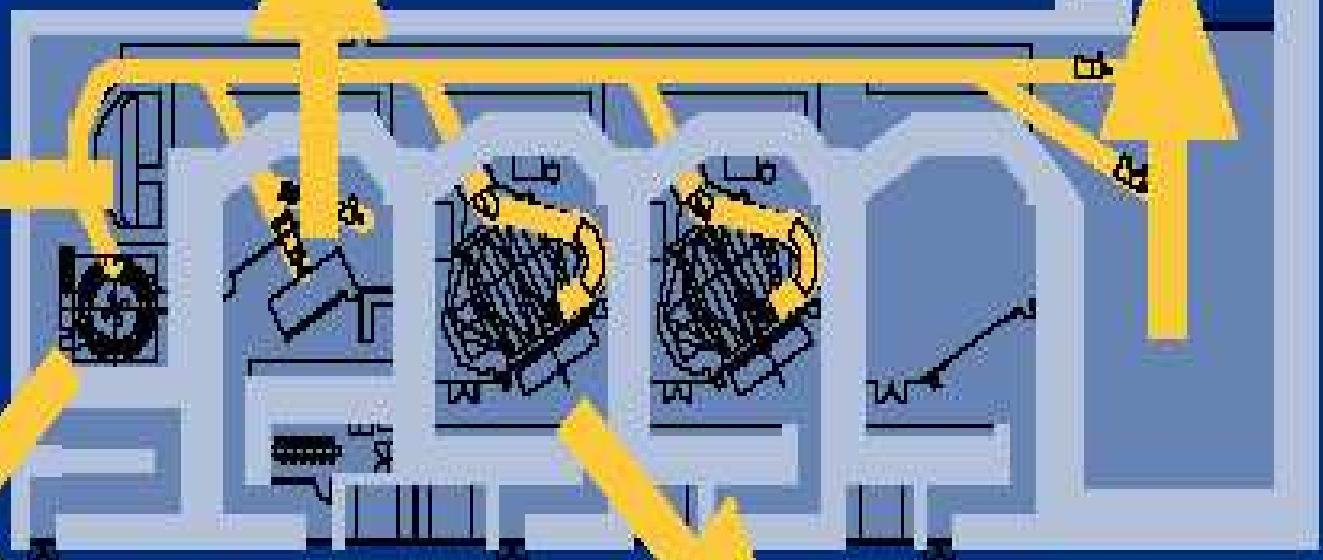
Un sistema de selección de energía permite la variación de la profundidad en agua hasta 32 cm. El rango puede ser variado rápidamente (10% en un segundo) y el haz está listo para intervenir de nuevo al cabo de un minuto aproximadamente.

El sistema de transporte guía automáticamente los protones hacia cada una de las salas de tratamiento usando imanes que guían, curvan o focalizan los protones.

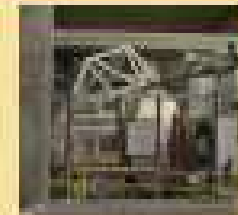


La sala de tratamiento de haz fijo está dedicada al tratamiento de ojo, cabeza y cuello usando máscaras especiales.

La sala experimental permite el montaje de diferentes experimentos, con acceso independiente.



Los protones son producidos en el interior de un Penning ion gauge e inyectados para ser acelerados dentro del Ciclotrón siguiendo una trayectoria en espiral que aumenta su diámetro a medida que aumenta la velocidad del protón. En cuestión de unas décimas de microsegundos, el protón alcanza la energía de extracción, que es de 230 MeV.

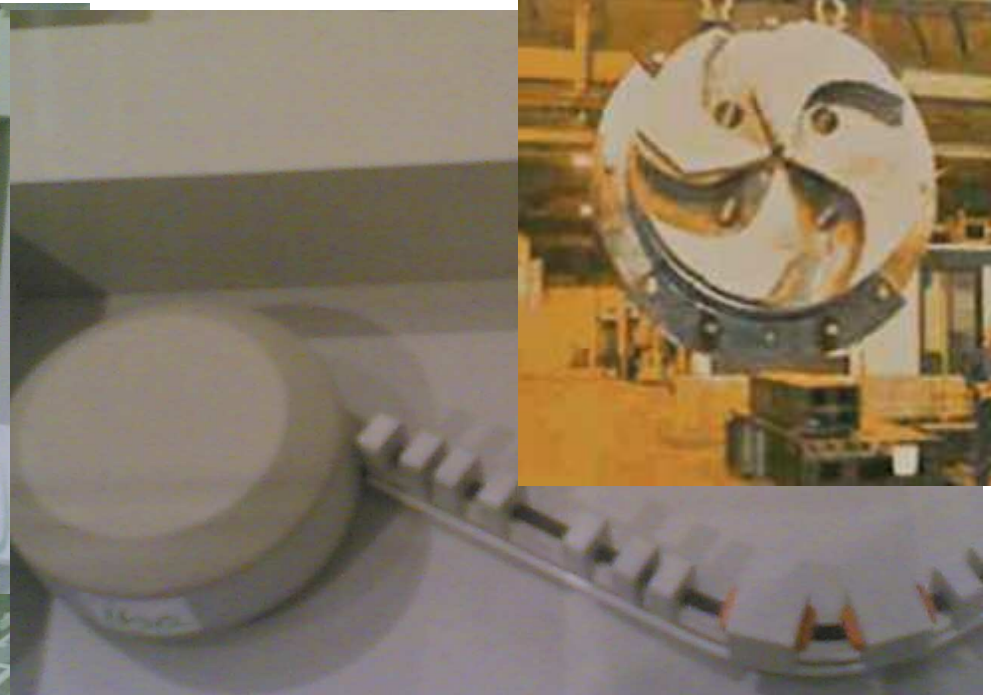


Los góntries isocéntricos junto con el sistema de posicionamiento del paciente permiten dirigir el haz desde cualquier ángulo (4π) para alcanzar el blanco.

# Zona Asistencial



# Equipamiento y Geografía



# Protonterapia vs. Radioterapia

- VENTAJAS DE LOS PROTONES FRENTE A LA RT CONVENCIONAL (RX / ELECTRONES):

- a. Dosis de entrada en el organismo: baja.
- b. Dosis a nivel del tumor (pico Bragg): alta.
- c. Dosis detrás del tumor: nula.
- d. Dosis lateral (por dispersión): muy baja.

LO QUE CONDUCE A:

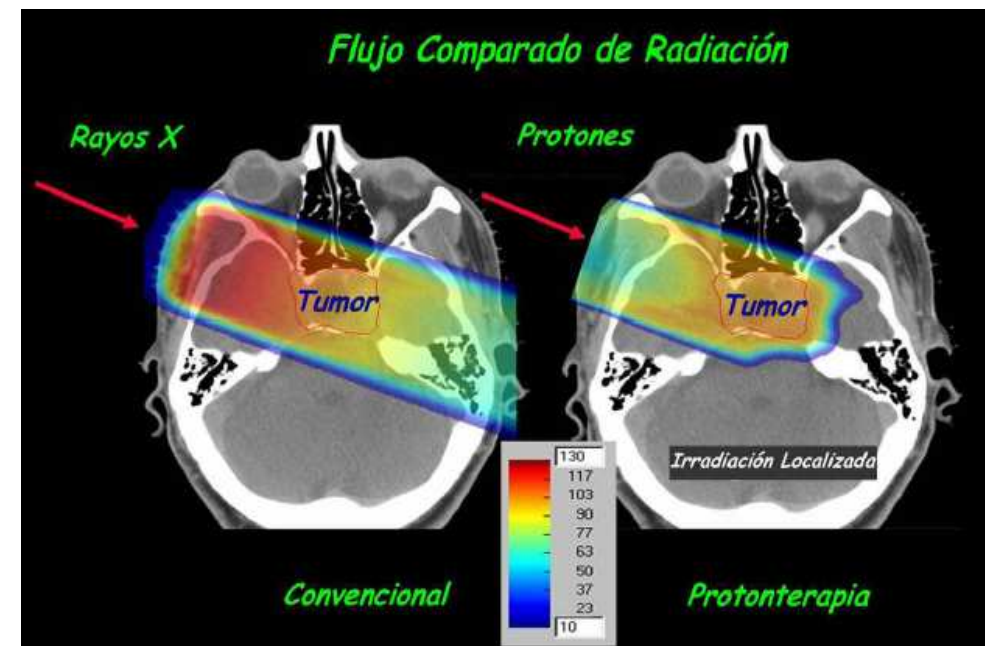
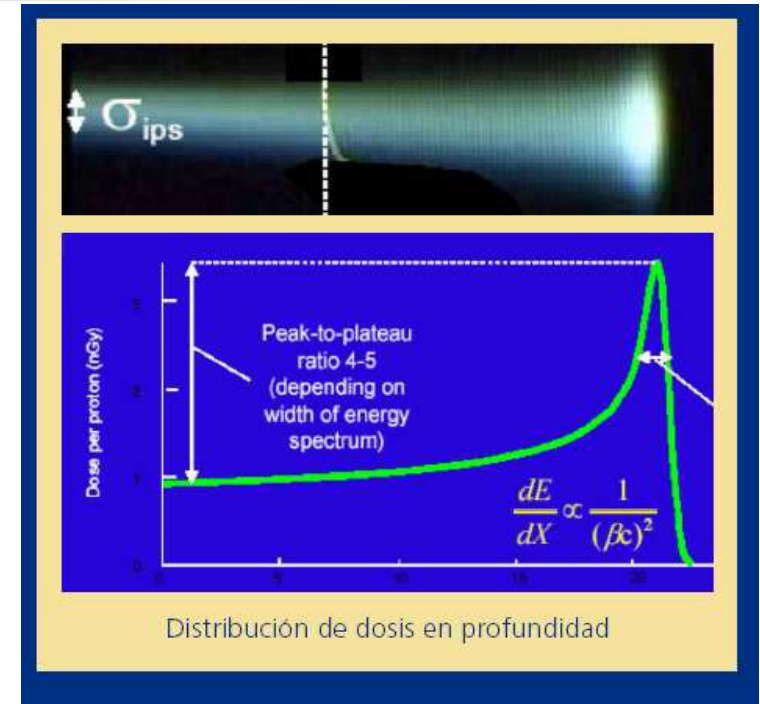
- a. Alta precisión balística.
- b. Mínima dosis integral fuera del tumor.

- CONSECUENCIAS DE LA RT CON PROTONES:

- a. Máxima protección de los tejidos sanos peritumorales.
- b. Intensificación de dosis en el tumor.
- c. Reducción del número de sesiones.

LO QUE CONDUCE A:

- a. Aumento de la tasa de control tumoral.
- b. Mejora de la calidad de vida.
- c. Aumento de la supervivencia.



# Indicaciones de Protonterapia

## CONDICIONES QUE DEFINEN UNA INDICACIÓN PREFERENTE:

- Tumores localizados, bien definibles, con bajo potencial metastatizante
- Tumores situados en las proximidades de órganos críticos (médula espinal, vías ópticas...)
- Tumores infantiles (mayor riesgo de secuelas)

## Tratamiento de melanoma ocular



## INDICACIONES DE PROTONTERAPIA

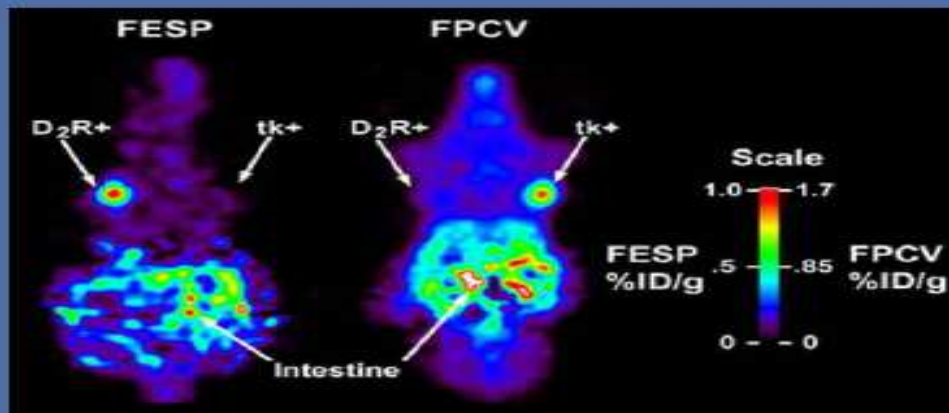
- Intracraneales: {
  - Cordomas
  - Condrosarcomas
  - Meningiomas
  - Adenomas hipofisarios
- Oftalmológicos: {
  - Melanomas
  - Hemangiomas
- Infantiles {
  - Cerebrales
  - Oculares y orbitarios
  - Sarcomas de base de cráneo y columna
- Tumores sólidos adulto extracraneales {
  - Nasofaringe
  - Próstata
  - Pulmón no microdtico inoperable
  - Condromas y condrosarcomas





## Investigación en Imagen y Aceleradores aplicada a la Medicina

- La actividad de dicha Instalación en I + D será en:
  - Detectores de partículas.
  - Dispositivos para el diagnóstico.
  - Imagen Médica.
  - Aceleradores para la Medicina.
  - Aplicaciones científico-tecnológicas



### MICRO-PET

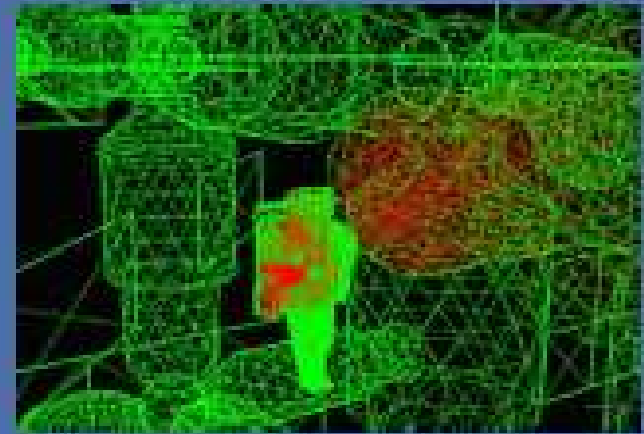
Estudios oncológicos y de expresión génica.  
Derecha: rata no expresa la tirosin-Kinasa.  
Izquierda: rata que expresa la tirosin-kinasa.

Diagnóstico de Alzheimer: se visualiza la formación de capas Beta-amiloide. Izquierda: cerebro de ratón normal. Derecha: ratón con Alzheimer.

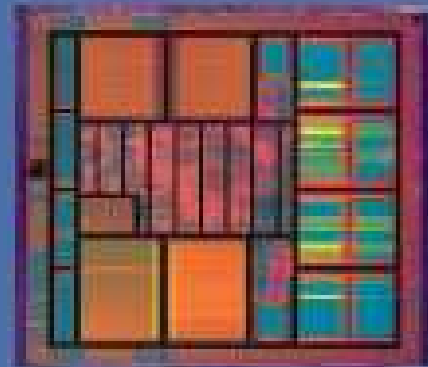
# Aplicaciones Científico-Tecnológicas

## Ciencias del Espacio:

La radiación ionizante significa un riesgo importante para los seres humanos que viven y trabajan en el espacio. La mayor fuente de radiación son los rayos cósmicos, compuestos de protones. Un programa para el desarrollo de sistemas de protección de rayos cósmicos es necesario para prevenir los efectos biológicos de la radiación cósmica. Estos estudios se pueden realizar usando los protones producidos en un ciclotrón.



Simulación de los efectos de los rayos cósmicos en astronautas.



## Electrónica:

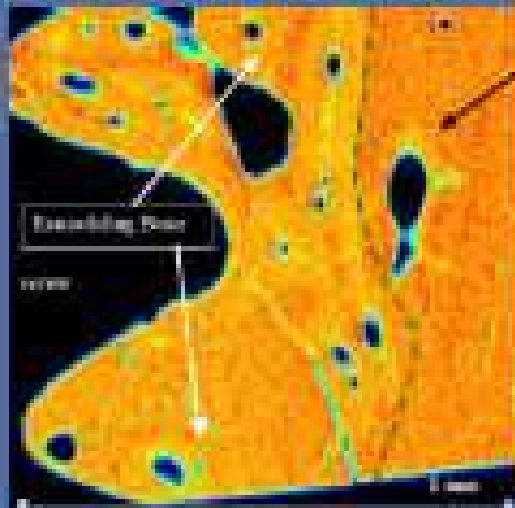
Efectos de la radiación en componentes electrónicos utilizados en estaciones espaciales, satélites, etc.



## Arqueología:

Datación de muestras arqueológicas.  
Análisis no destructivo.

# Aplicaciones Científico-Tecnológicas



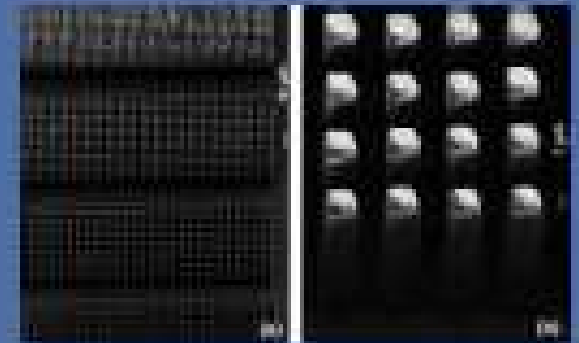
Análisis de la distribución de calcio en un hueso cerca de un tornillo metálico injertado.

## Biología y Medicina:

Difusión de elementos metálicos En estructuras óseas por medio de PIXE (Emisión de Rayos x inducida por protones)



Nanoestructuras fabricadas usando un haz de protones.



## Micromecánica:

Grabado de microestructuras tridimensionales usando haces de protones

## Otras Aplicaciones:

Preparación y recubrimiento de superficies, dosimetría y protección radiológica, producción de radioisótopos, dopado de semiconductores, análisis de magnetismo superficial en superestructuras magnéticas.

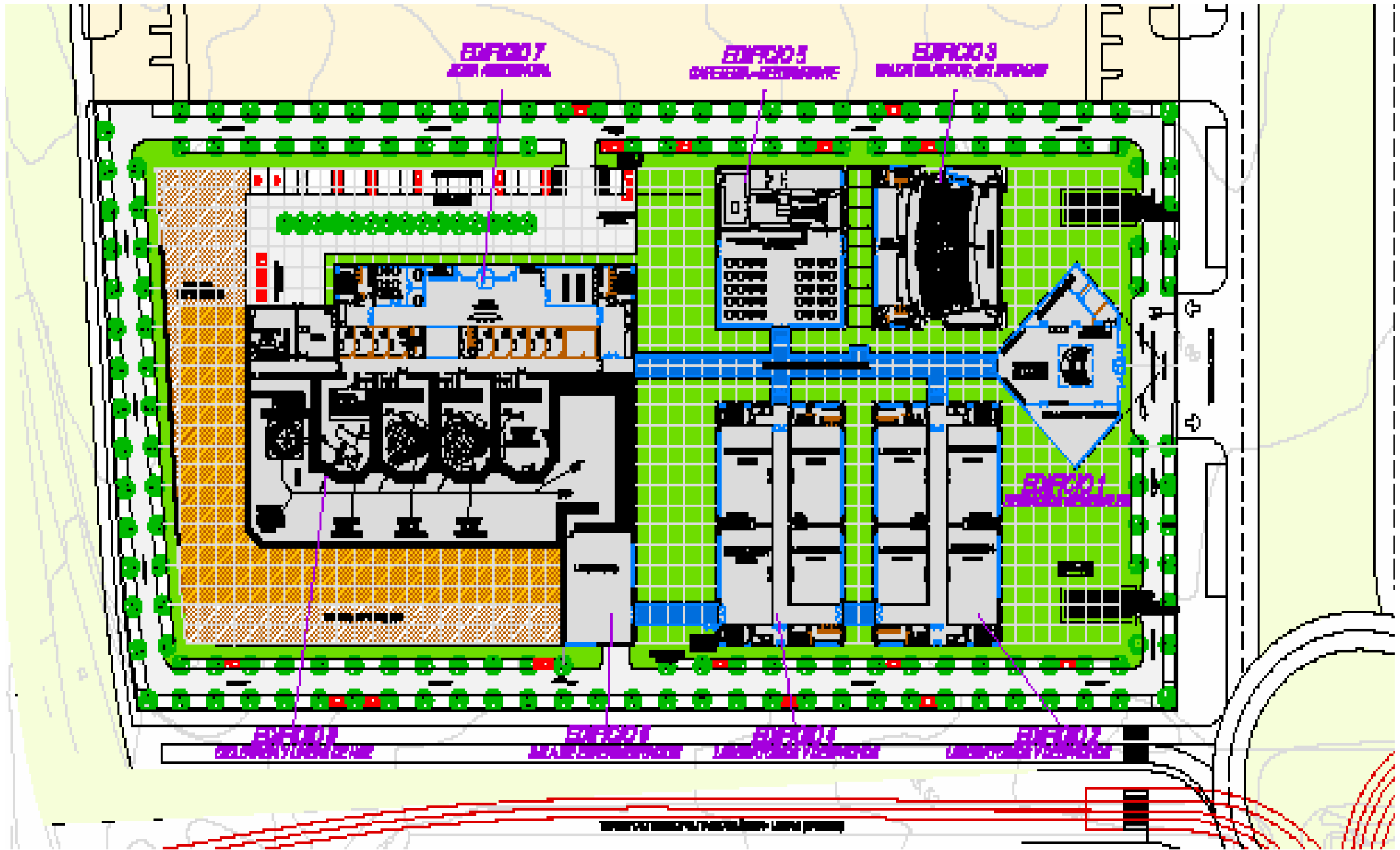


# Instituto de Física Médica (IFIMED)

---

- Es de interés integrar las actividades de I+D en un mismo Centro con los Servicios de Protonterapia y de Aplicaciones Industriales.
- Tal conjunción permitirá la transferencia innovadora a los sectores médico e industrial españoles de un modo eficaz.
- El IFIMED desarrollará programas de formación para el personal a cargo de los equipos de los equipos de terapia y diagnóstico, tanto para la propia Instalación como para los hospitales, en combinación con el Master de Física Médica de la Universitat de València.
- El IFIMED ya participa en una Red Europea ENLIGHT++ financiada por COST para la I+D en aceleradores orientados a Medicina, mejora de los gantry's y dispositivos "in-beam" para el control "on-line" de la dosis aportada.

# Instituto de Física Médica (IFIMED)



# Perspectivas



- No existe una instalación de estas características en España.
- En los países más avanzados, se están desarrollando centros para actividades en técnicas de diagnóstico por imagen de frontera y centros de hadronterapia (por protones o por iones de carbono), casi siempre por separado.
- Una novedad del Proyecto del IFIMED de Valencia es la integración de los servicios de terapia médica e industriales que puede ofrecer un ciclotrón de protones de 230 MeV en un Instituto de investigación avanzada en Imagen médica y Aceleradores.
- Una de las medidas capitales del grado de civilización de un país es el de ofrecer una mejora de la calidad de vida de sus ciudadanos, y con este proyecto la Física continuará aportando nuevas aplicaciones a la Sociedad.



# Conclusión

---

Aplicación de Física de Partículas a la Medicina

**NO puede haber  
FISICA APLICADA  
SIN disponer de  
FÍSICA**



# Informe de Diseño Técnico

## Editores: J. Bernabeu + I. Petschen

- 1) Motivación, objetivos e instalaciones - J. Bernabeu + J. Fuster
- 2) Acelerador e Instrumentación asociada - A. Faus-Golfe
- 3) Instalaciones de servicio a pacientes - J. Pérez-Calatayud + M. LLoret
- 4) I+D en detectores y hardware asociado - C. Lacasta
- 5) I+D en dispositivos de diagnóstico médico - J. M. Benlloch
- 6) I+D en imagen médica funcional - M. Rafecas
- 7) Aplicaciones Científico-Tecnológicas - D. Errandonea + A. Ferrer + J.L Tain
- 8) Estudios Clínicos y Protocolos - A. Llombart
- 9) Instalaciones de seguridad y organización - I. Petschen
- 10) Sistemas Informáticos, de control, web, etc. - A. Pérez + J. Sánchez
- 11) Obra Civil - Unidad Técnica de la UV
- 12) Asesoría financiera - M. Llombart Fuertes
- 13) Divulgación y Comunicación - J. Navarro + J. Velasco

+ la participación en cada Sección de otros físicos, ingenieros y médicos valencianos y no-valencianos: españoles y extranjeros.

**A TODOS → MUCHAS GRACIAS**