

Aplicaciones de la Física de Partículas

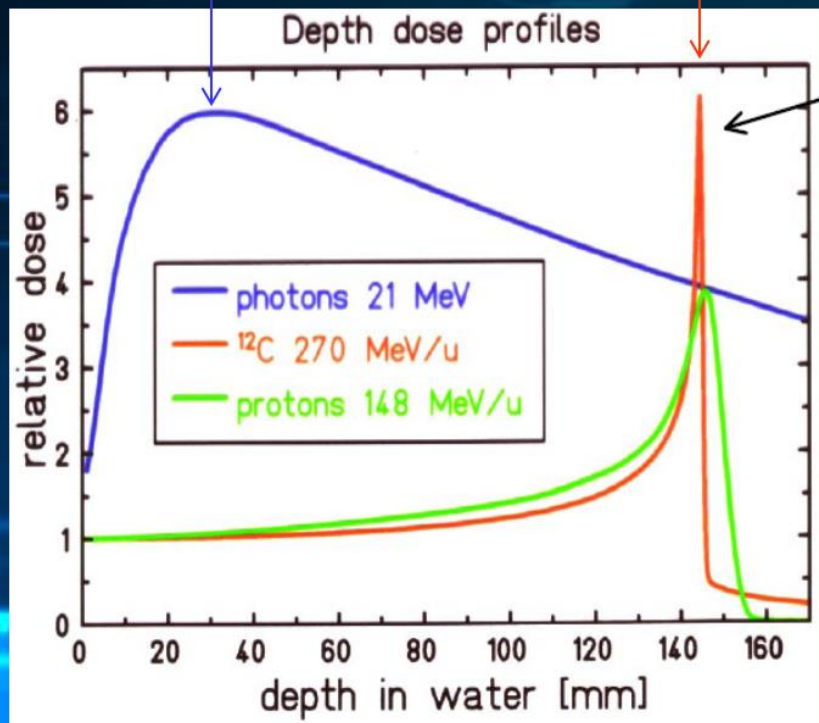
Reyes Alemany

BE/OP CERN

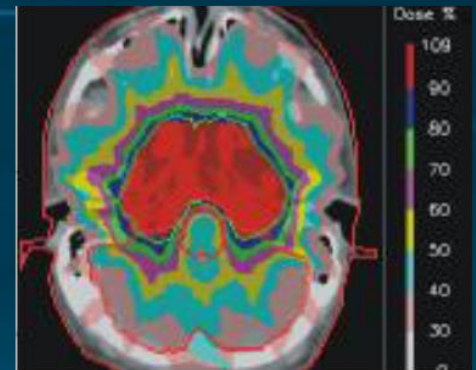
Medicina: terapia contra el cáncer

Los rayos-X depositan la mayoría de su energía en los tejidos superficiales

Los protones e iones depositan su energía en profundidad

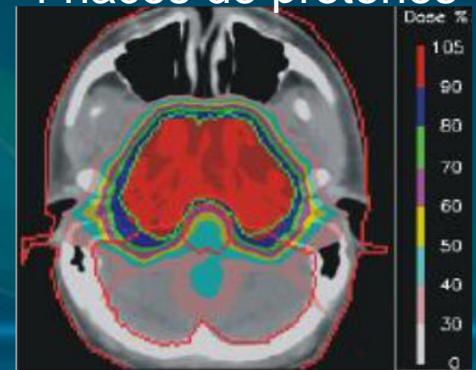


9 fuentes de rayos-X



9 haces de rayos X

4 haces de protones



4 haces de protones

Los haces de protones permiten un mejor ciblage del tumor

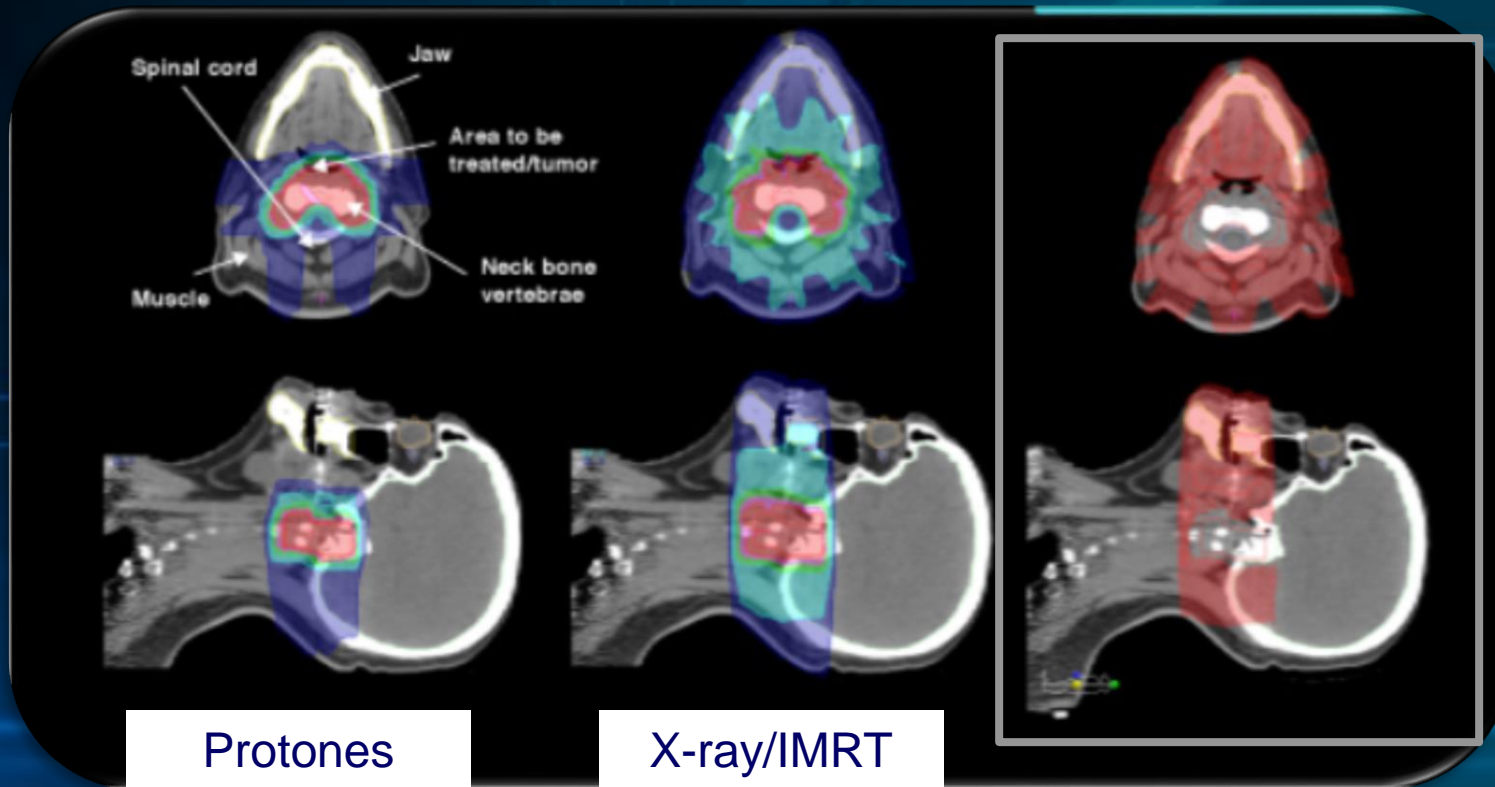
Medicina: imágenes médicas

- Rayos-X (en el dentista)
→ imágenes de los tejidos duros
- Resonancia magnética del cuerpo (MRI) desarrollada en los 70, imágenes de los tejidos blandos!
- Tomografía computarizada (CT)
- Tomografía por emisión de positrones (PET), desarrollado por los detectores de partículas
- PETs + MRI o CT
 - PET mide importantes funciones de cuerpo: flujo sanguíneo, oxígeno, metabolismo del azúcar
 - CT proporciona excelente información anatómica



Medicina: imágenes médicas

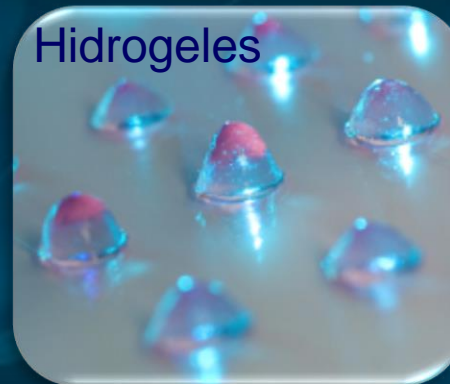
- Tomografía computerizada con protones: usa protones en vez de rayos-X → menos exposición a la radiación; proporciona imágenes en 3D con mucha más resolución



Radiación adicional proporcionada por los rayos-X vs protones

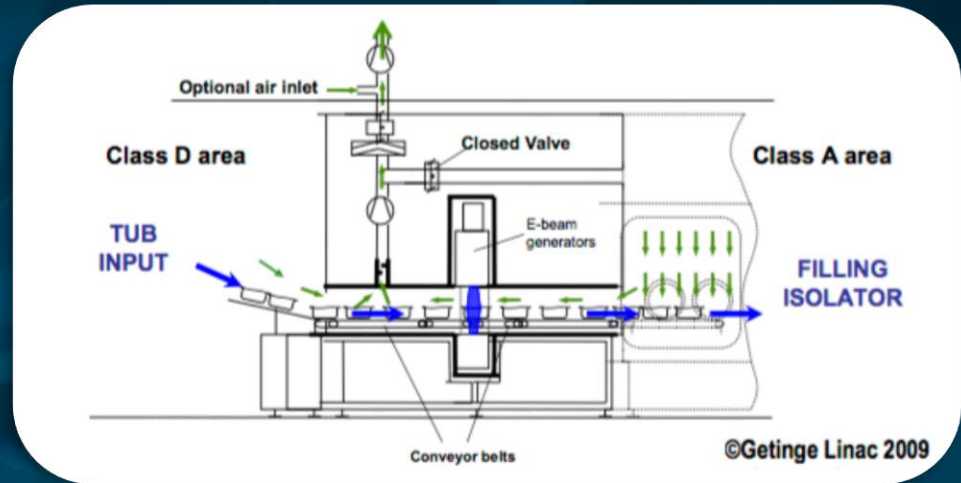
Medicina: materiales médicos

- Implantes
- Hidrogeles
 - tiritas especiales para quemaduras
 - lentes de contacto
- Válvulas para corazón: materiales bombardeados con iones de plata
- Radio-isótopos producidos por aceleradores para imágenes médicas y radio terapia



Industria: biomedicina y desarrollo de fármacos

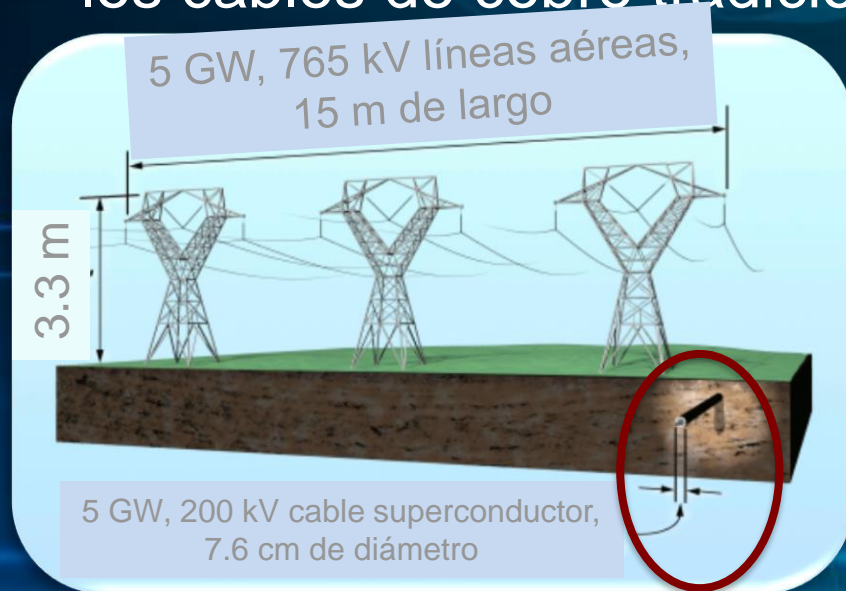
- Biomedicina usa tecnologías de física de aceleradores para descifrar las estructuras de las proteínas y entender los procesos biológicos y el desarrollo de enfermedades
- La industria farmacéutica utiliza haces de electrones de baja y media energía para la esterilización “superficial” a temperatura ambiente de material médico desde que este tipo de aceleradores se pudieron construir de manera compacta, con su propio blindaje, lo que permitió la integración en las líneas de producción



Tiempo de esterilización: segundos, sin embargo con rayos gamma puede costar horas

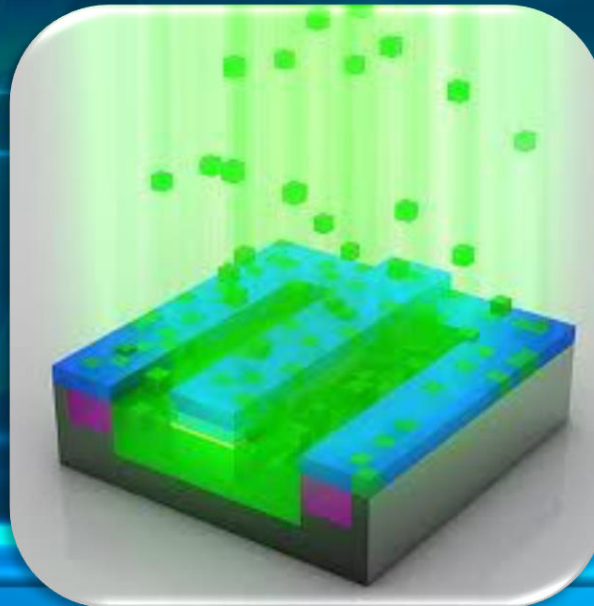
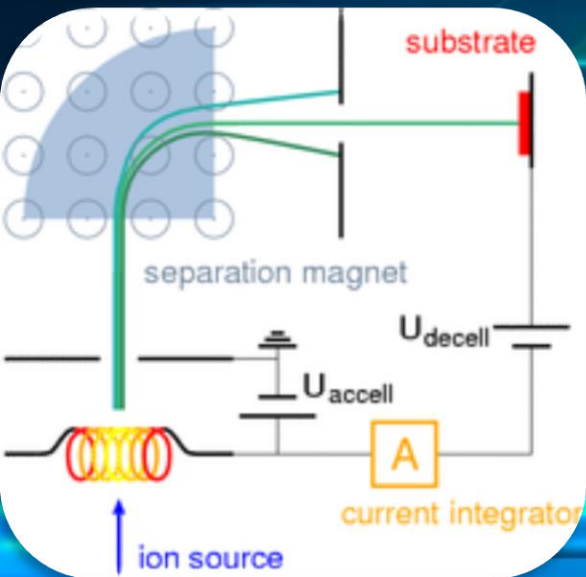
Industria: transmisión de potencia

- Los avances en tecnología superconductoras llevados a cabo en física de aceleradores se han aplicado a la transmisión de potencia → los cables superconductores pueden conducir mucha más corriente y sin pérdidas que los cables de cobre tradicionales



Industria: implantación de iones para materiales electrónicos

- El silicio utilizado como materia semiconductor está adulterado (dopado), de manera que puede conducir la electricidad, usando implantación de iones → un haz de iones bombardea el material

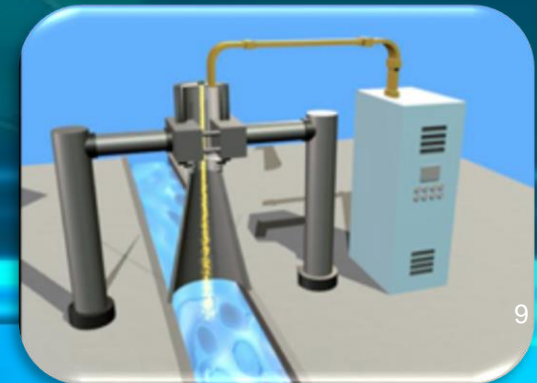


Otras aplicaciones industriales

- Endurecimiento de materiales
 - Reemplazando el acero con compuestos de carbono endurecido con rayos-X puede reducir el consumo de energía de los coches en un 50%
 - Muebles resistentes a las ralladuras
- Esterilización de alimentos → pasterización en frío

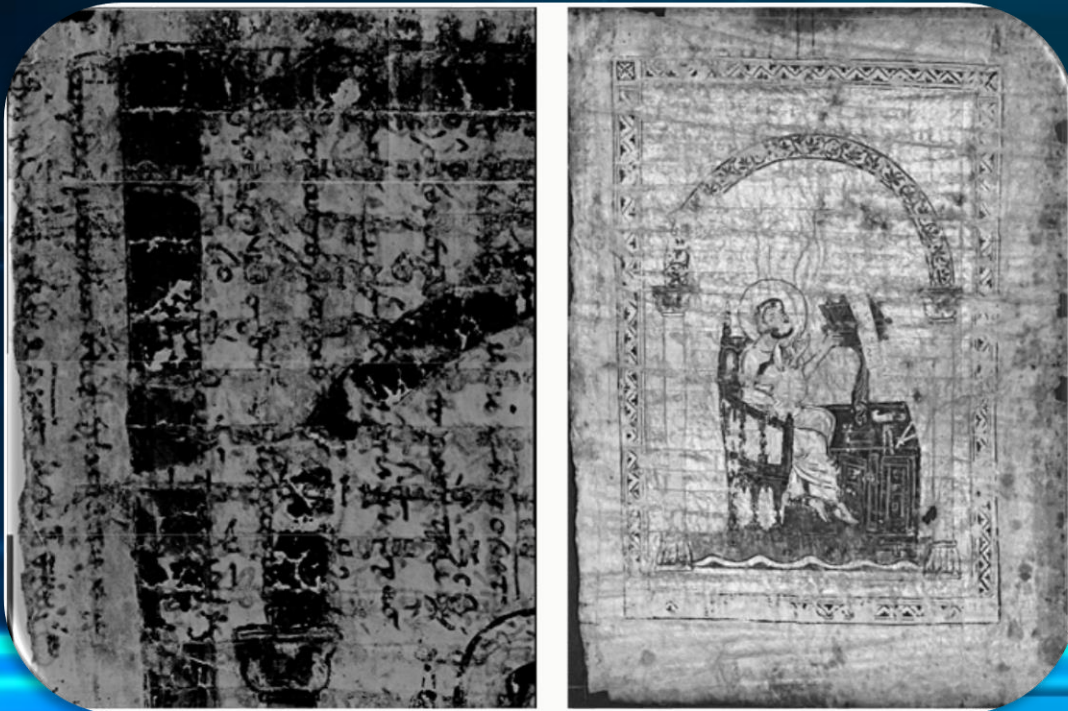


- Irradiación de topacio y otras gemas para cambiarles el color
- Purificación del agua → no necesita productos químicos



Arte, arqueología: datación, autenticación no destructiva

- Rayos-X procedentes del sincrotrón en SSRL descubrieron un texto oculto de Arquímedes (nacido en el 287 B.C. en Sicilia) que había estado oculto porque escribieron y pintaron encima

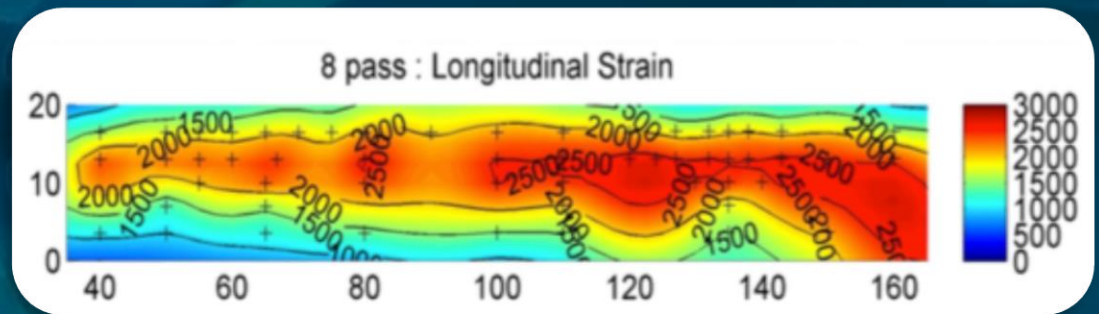


Stanford Synchrotron Radiation Lightsource



Industria: aeronáutica

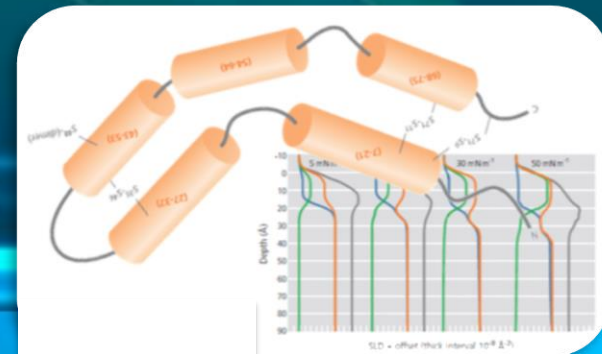
- Desde 2006, AIRBUS usa la fuente de neutrones de ISIS (fuente de neutrones y muones en el laboratorio Rutherford Appleton, Oxford), para investigar la integridad de las soldaduras de aluminio
- El proceso de soldadura crea tensiones residuales que debilitan las piezas e incluso pueden llegar a romperse



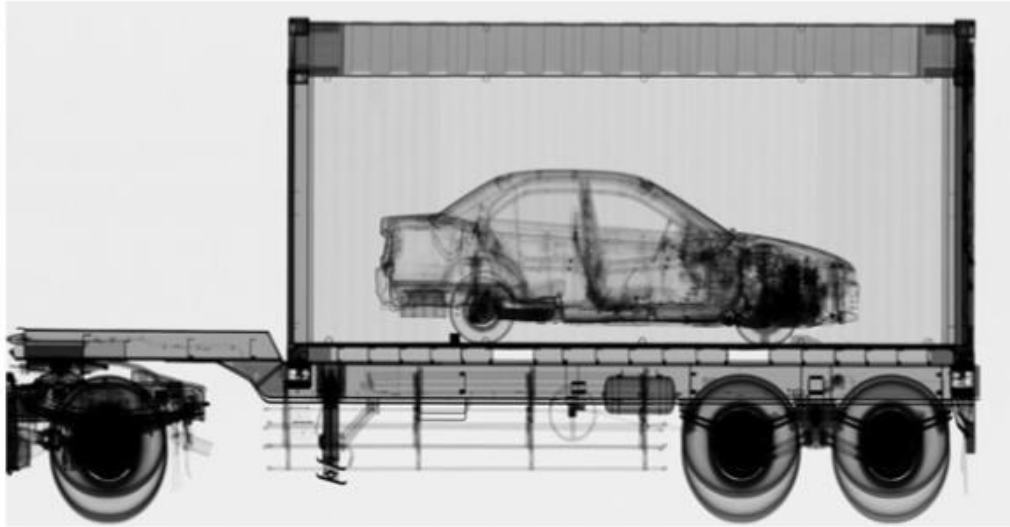
- Los neutrones de ISIS penetran en las piezas permitiendo medir con mucha precisión las tensiones internas
- Esto también ha permitido desarrollar mejores materiales

Medicina: estructura de los pulmones

- El tejido pulmonar está diseñado para permitir el paso del oxígeno a la sangre
- La ausencia de este tejido en los bebés prematuros dificulta su respiración
- En ISIS, usando la fuente de neutrones, han podido descubrir cómo las proteínas y los fosfolípidos actúan juntos para permitir el funcionamiento de los pulmones
- Esto ha permitido el desarrollo de tejido pulmonar sintético para ayudar a los bebés prematuros



Seguridad: scan



Cargo containers scanned at ports and border crossings

Accelerator-based sources of X-Rays can be far more penetrating (6MV) than Co-60 sources.

Container must be scanned in 30 seconds.

Image source: Varian medical systems

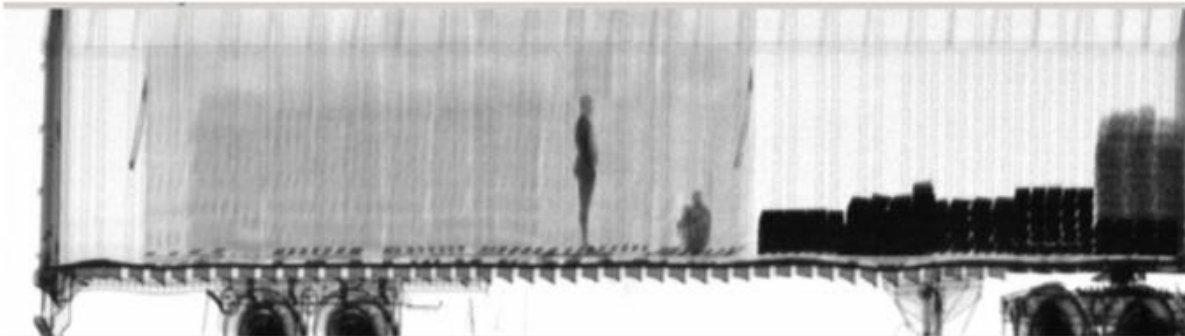


Image: dutch.euro

Energía y medio-ambiente

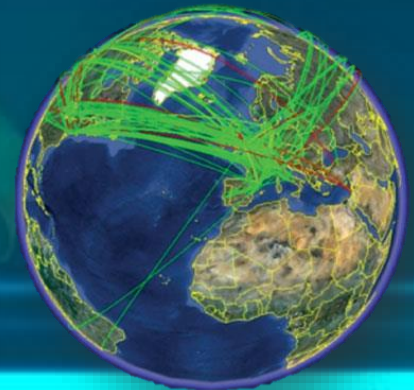
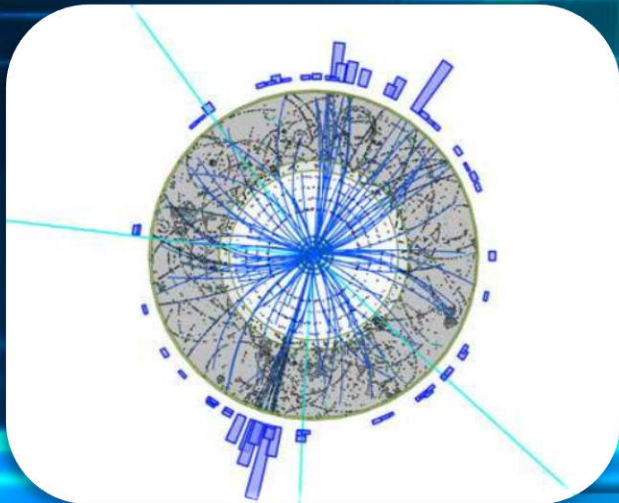
- Haces de electrones son utilizados en centrales de potencia que usan gas para la reducción de la emisión de óxidos sulfuro y nitrógeno



- Un pre-tratamiento del bio-carburante con haces de electrones, mejora el rendimiento del carburante y reduce la emisión de sustancias químicas perjudiciales para la salud

Informática: el GRID

- El proyecto GRID comenzó en el 2002 con el objetivo de proporcionar una plataforma a los físicos de partículas del CERN para almacenar, distribuir y analizar los 15 peta bytes (15 000 000 000 000 000 bytes = 15 000 copias de la enciclopedia británica) de datos generados al año
- Estas cantidades inmensas de datos están distribuidas por todo el globo terrestre
- Esto se consigue gracias a la combinación de cientos de miles de granjas de ordenadores
- La industria y la medicina son también ejemplos de áreas donde se generan muchísimos datos y que se benefician de los avances en tecnología de la información



Informática: la Web

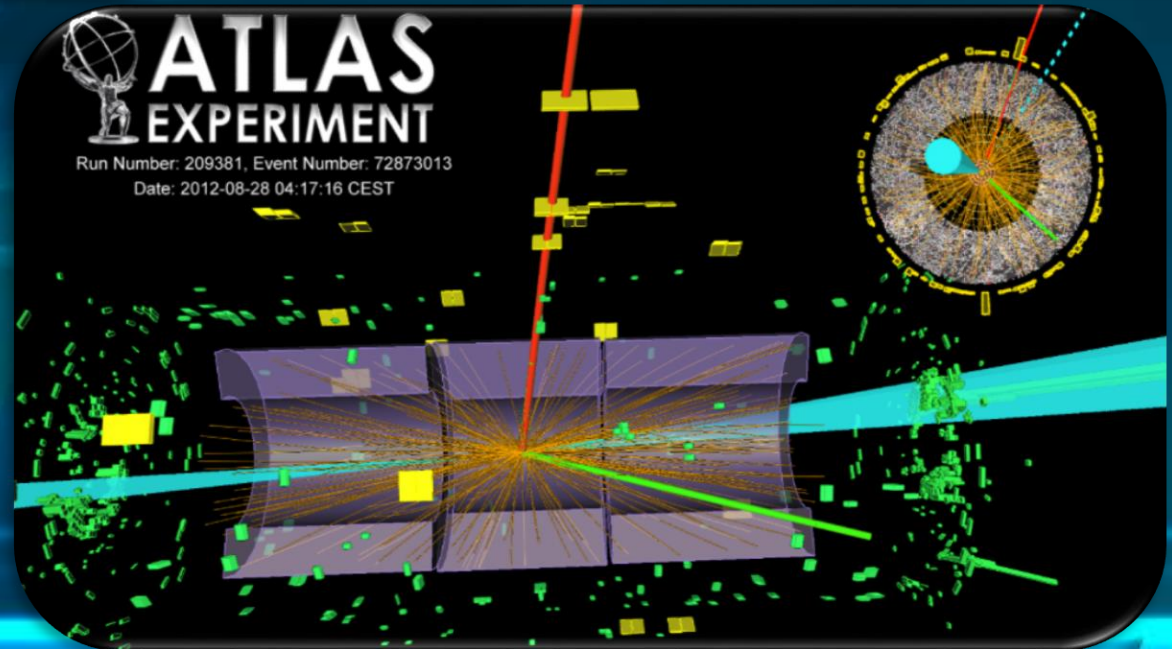
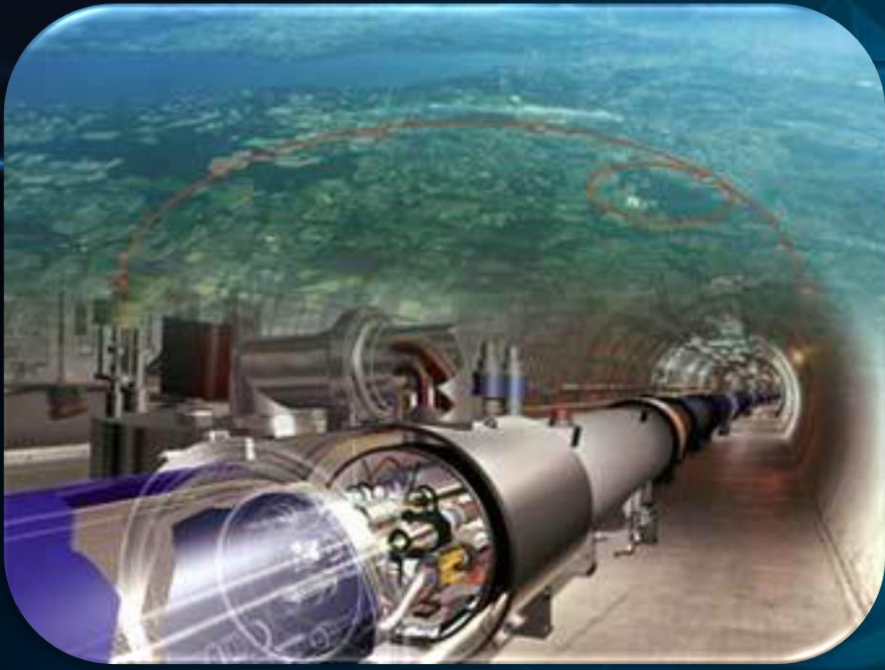
- El físico Tim Berners Lee inventó la World Wide Web para ofrecer a los físicos de partículas una herramienta que les permitiera comunicarse rápida y eficientemente con colegas situados en cualquier parte del mundo
- Sin duda este es uno de los pocos ejemplos en los que una tecnología desarrollada para la física de partículas ha impactado de manera tan profunda la economía global y las interacciones sociales
- En 2001 los beneficios generados por la Web excedían una trillón de dólares con una clara evolución exponencial
- Comparamos con la industria que más dinero mueve al año: petróleo → con más de 2.5 billones de dólares en ventas en 2010

CERN – Where the Web was Born

Tim Berners Lee inventor de la Web

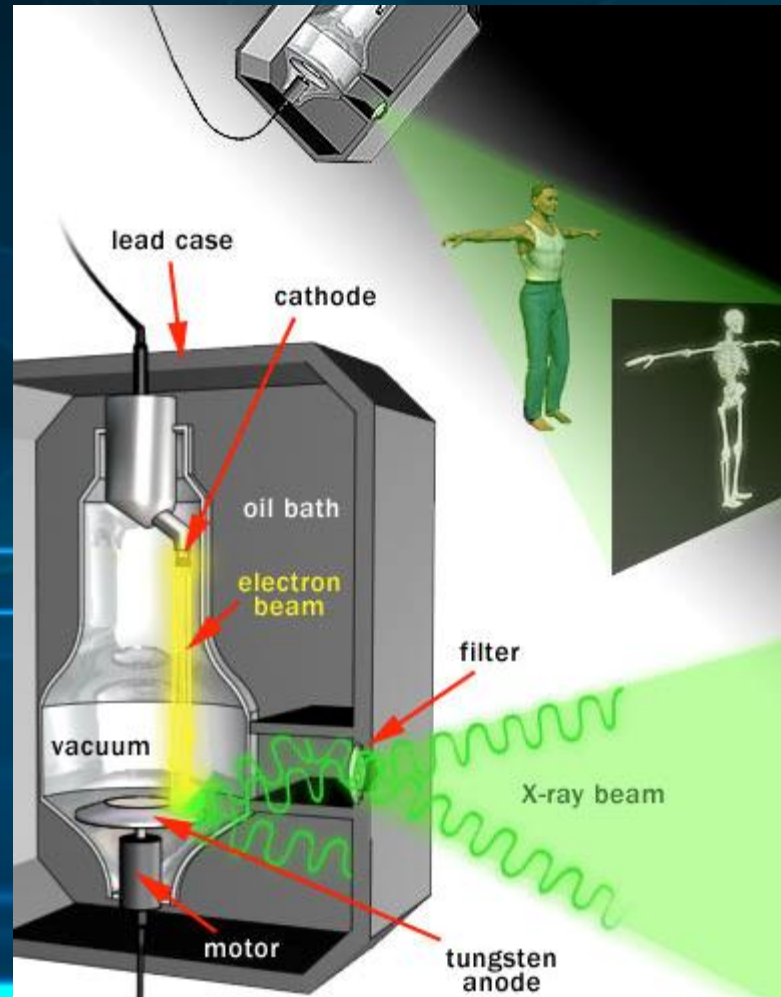


- La próxima vez que alguien os pregunte para qué sirven los aceleradores o los descubrimientos en física, podéis contestar ...
- un haz de partículas del tipo adecuado, a la energía adecuada y con la intensidad adecuada puede eliminar un tumor, producir energía más limpia, detectar camiones con contrabando, hacer coches con mejor rendimiento, limpiar sin productos químicos el agua que bebemos, conseguir el mapa de una proteína, estudiar una explosión nuclear, crear nuevos fármacos, crear cables resistentes al calor, diagnosticar enfermedades, reducir los residuos radiactivos, detectar fraudes en arte, implantar iones en semiconductores, datar yacimientos arqueológicos, esterilizar instrumentos médicos y alimentos,
- y, por supuesto, desvelar los secretos del universo



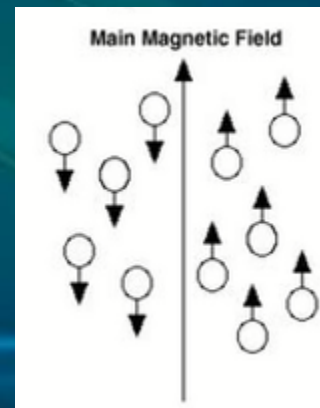
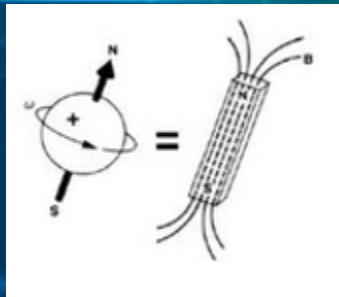
Extras

Cómo funciona una máquina de rayos-X?



Cómo funciona MRI?

- Una imagen con resonancia magnética consiste en tomar imágenes de los protones que hay en el agua (nuestro cuerpo 90% agua H₂O)
- Además tenemos la suerte que el hidrógeno proporciona la mejor señal de resonancia magnética de todos los átomos
- Este tipo de diagnóstico está basado en la resonancia magnética nuclear descubierta en 1946 y desarrollada posteriormente para análisis molecular
- En 1975 se propone la MRI que usamos actualmente en pacientes
- En 1993 la MRI funcional nació
- Los núcleos de hidrógeno se comportan como pequeños imanes cuando se colocan dentro de un campo magnético, de manera que aproximadamente la mitad se orientan en un sentido y la otra mitad en el otro sentido cancelándose unos a otros
- Pero unos pocos de cada millón no, con lo que no hay una simetría perfecta



Cómo funciona MRI?



Lauterbur, Univ. Stonybrook, New York & Mansfield & Grannell, Univ. Nottingham

- Si introducimos energía en el sistema en forma de ondas electromagnéticas de radio-frecuencia, los “imanes” no cancelados van a cambiar de orientación
- Este cambio de orientación se hace a una frecuencia que depende de la intensidad del campo magnético aplicado!!!
- La frecuencia de cambio de orientación es la frecuencia de Larmor
- Para diferenciar las distintas partes del cuerpo, el campo magnético no es constante, sino que varía en función de la posición
- De esta manera los núcleos en posiciones diferentes experimentan campos magnéticos diferentes → su frecuencia de oscilación es diferente
- La intensidad de la señal nos dice cuántos núcleos hay en esa posición
- Con estas dos informaciones, posición y cantidad, y un programa informático especial podemos reconstruir un mapa del cuerpo en 3 dimensiones

Resonance Frequency

The frequency of the radiation necessary for absorption of energy depends on three things:

- First, it is characteristic of the type of nucleus (e.g., ^1H or ^{13}C).
- Second, the frequency depends on chemical environment of the nucleus. For example, the methyl and hydroxyl protons of methanol absorb at different frequencies, and amide protons of two different tryptophan residues in a native protein absorb at different frequencies since they are in different chemical environments.
- The NMR frequency also depends on spatial location in the magnetic field if that field is not uniform everywhere.

Let's go back to the beam rigidity formula, for a proton:

$$B \cdot \rho = \frac{p}{e}$$

B: constant magnetic field perpendicular to the particle trajectory
 ρ: local curvature radius
 p: particle momentum
 e: elementary electric charge

Expressing above as a function of the local curvature radius and converting the momentum to energy:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{B}{p} \cdot e$$

$$p = m_0 \gamma v = \frac{E}{c^2} \cdot c^2 = \frac{E}{c}$$

$$p = \frac{E}{c}$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{B \cdot c \cdot e}{E \cdot \beta} = \frac{B \cdot c^2 \cdot e}{E \cdot v}$$

$$\omega_L = \frac{v}{\rho} = \frac{B \cdot c^2 \cdot e}{E} = \frac{B \cdot e}{m} \quad \left(E = \gamma m_0 c^2 \right)$$

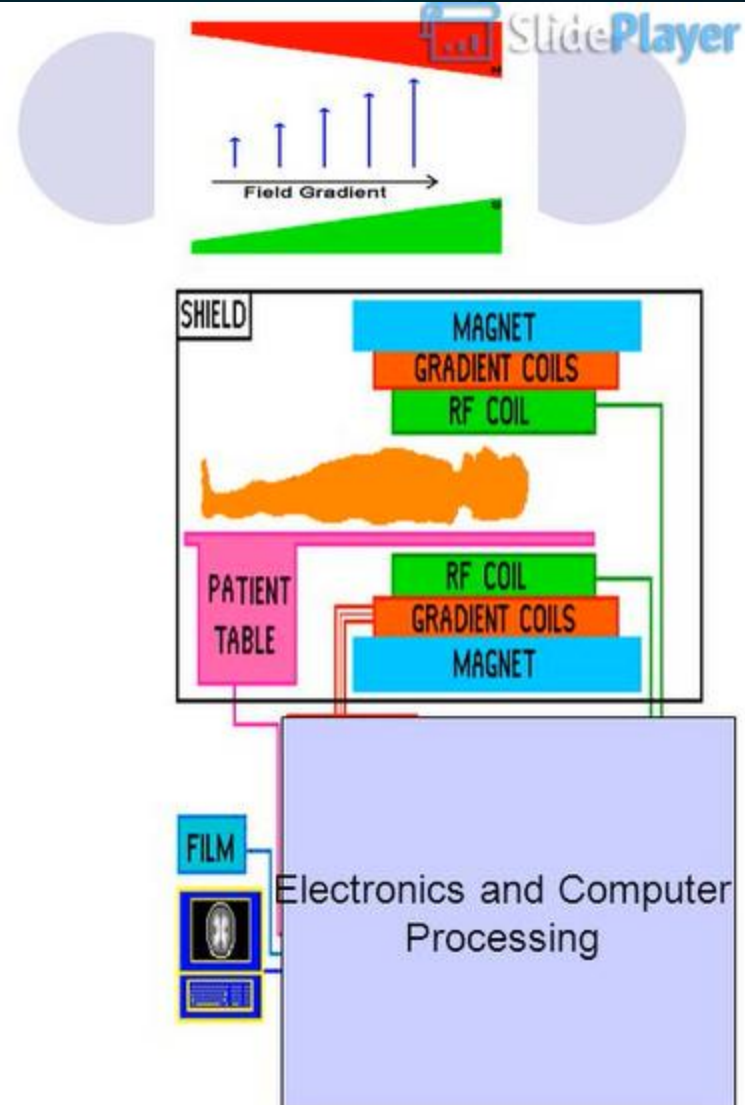
where ω_L is the CYCLOTRON FREQUENCY or LARMOR FREQUENCY.

$\omega_L = \omega_{RF}$ such every time the particle crosses the gap sees an accelerating electric field.

Cómo funciona MRI?

In the patient..

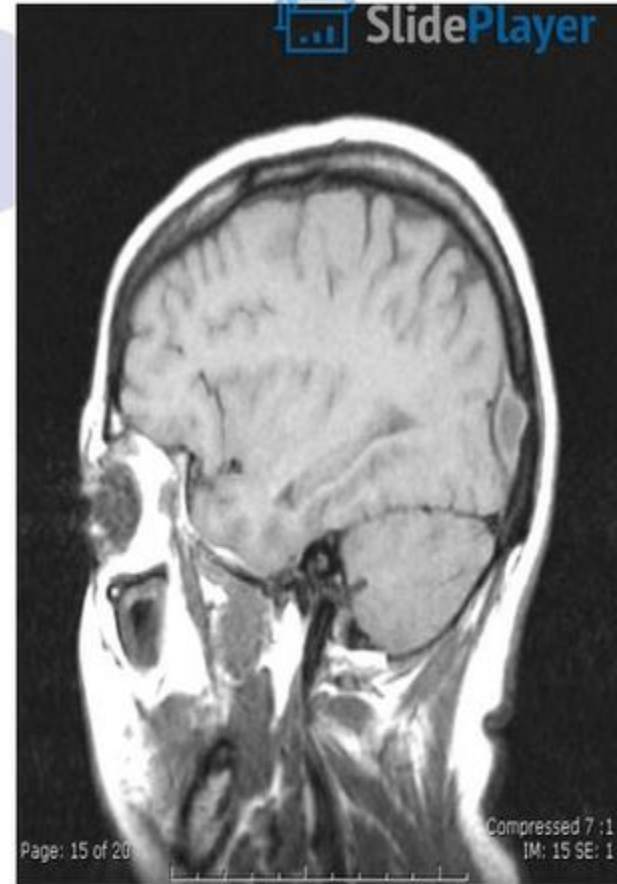
- By switching three small gradient magnets (18-27mT) on and off a variable magnetic field is formed.
- The large magnet immerses the patient in a stable and very intense magnetic field.
- By altering the gradient magnets, we can choose exactly which specific area of the body we want to analyze in slices.
- When the RF pulse is turned off, the H protons begin to slowly return to their natural alignment within the magnetic field and release their excess stored energy.
- The released energy, gives off a signal that the coil now picks up and sends to the computer system.
- The mathematical data is converted through the use of a Fourier transform, into a picture that we can put on film.



Cómo funciona MRI?

Visualization

- Most imaging modalities such as CT and X-ray scan use injectable contrasts or dyes for certain procedures. These agents work by blocking the X-ray [photons](#) from passing through the area where they are located and reaching the X-ray film. This results in differing levels of density on the X-ray/CT film.
- MRI contrast works by altering the local magnetic field in the tissue being examined.
- Normal and abnormal tissue will respond differently to this slight alteration, giving different signals.
- These varied signals are transferred to the images, allowing us to visualize many different types of tissue abnormalities and disease processes better than we could without the contrast.



Cómo funciona MRI?

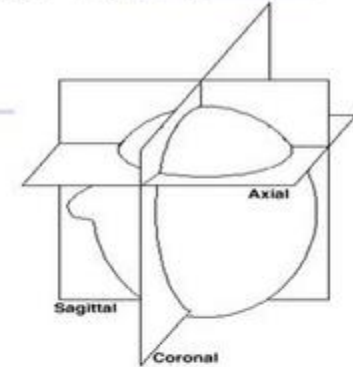
Advantages and Disadvantages of MRI

- Advantages:

- do not use ionizing radiation
- very low incidence of side effects
- Ability to image any plane: axial, sagittal, coronally
- Ideal for orthopaedic and neurological applications.

- Disadvantages:

- Lower sensitivity than CT and X-Ray scans.
- Many people who can not be scanned by MRI because they have metal in their body or are too big to be scanned or are claustrophobic.
- Make a tremendous amount of noise. The stronger the main field, the louder the gradient noise.
- MRI scans require patients to hold still from 20 to 90 minutes or more. Very slight movement can cause very distorted images that will have to be repeated.
- Orthopaedic hardware (screws, plates, artificial joints) in the area of a scan can cause severe distortions on the images. The hardware causes a significant alteration in the main magnetic field.
- MRI systems are very expensive to purchase.



Cómo funciona MRI?

Current and Future developments of MRI

- Functional MRI (fMRI) is a technique that has recently been introduced to obtain functional information from the central nervous system. fMRI detects subtle increases in blood flow associated with activation of parts of the brain. fMRI may be useful for preoperative neurosurgical planning, epilepsy evaluation, and "mapping" of the brain.
- Looking at Hydrogen atoms in fat.
- Detection of other atoms: recently, excellent MRI images of the airways in human lungs have been obtained by detecting inert gases such as helium or xenon inhaled by the patient.
- Improvements in strength of superconducting magnets at lower costs.
- A less claustrophobic design, such that the patient does not have to lie on the magnet bore.
- MRI for pregnant patients.

Cómo funciona una fuente de espalación de neutrones?

- Primero aceleramos muchosssss protones a 1 – 2 GeV
 - Potencia del haz = varios MW, 1.5×10^{16} protones/segundo
- Mandamos los protones contra un metal, normalmente wolframio
 - Por cada 1 GeV protón se producen unos 20 neutrones
- Los neutrones se deceleran hasta energías de meV
- Los neutrones se mandan a los experimentos o aplicaciones industriales

Processes in the production of neutrons

