Principios de Aceleradores de Partículas

Javier Barranco García

CERN ABP/CC3

14 Septiembre 2011

Grandes instrumentos en física

- Aceleradores de Partículas
  - Para estudiar lo que es extremadamente pequeño
    - Partículas son creadas a partir de colisiones muy energéticas y son analizadas.
    - Se excitan los núcleos a determinados estados y se analizan.
    - Fotones de onda corta y neutrones son generados indirectamente para observar lo extremadamente pequeño.
  - Como fuente intensa de partículas para otras aplicaciones
    - Radio terapia contra el cáncer y producción de radioisotops
    - Transmutacion de la basura nuclear para reducir su toxicidad
    - Haces de fotones intensos para: micro-lithography, etc.
- Gran telescopios
  - Para estudiar lo que es extremadamente grande
    - Para ver lo que está lejos en el espacio y en el tiempo.
    - Observing large phenomena at their extreme conditions

Ramas de la Física

La física podría definirse como la ciencia que estudia la naturaleza de la materia y cómo ésta interacciona con el medio que la rodea.



Principio básico de funcionamiento de un acelerador de partículas

Las dos principales funciones de un acelerador son:

- Incrementar la energía de la partícula
- Guiar y focalizar las partículas a la largo de una trayectoria definida.

La ecuación de Lorentz,

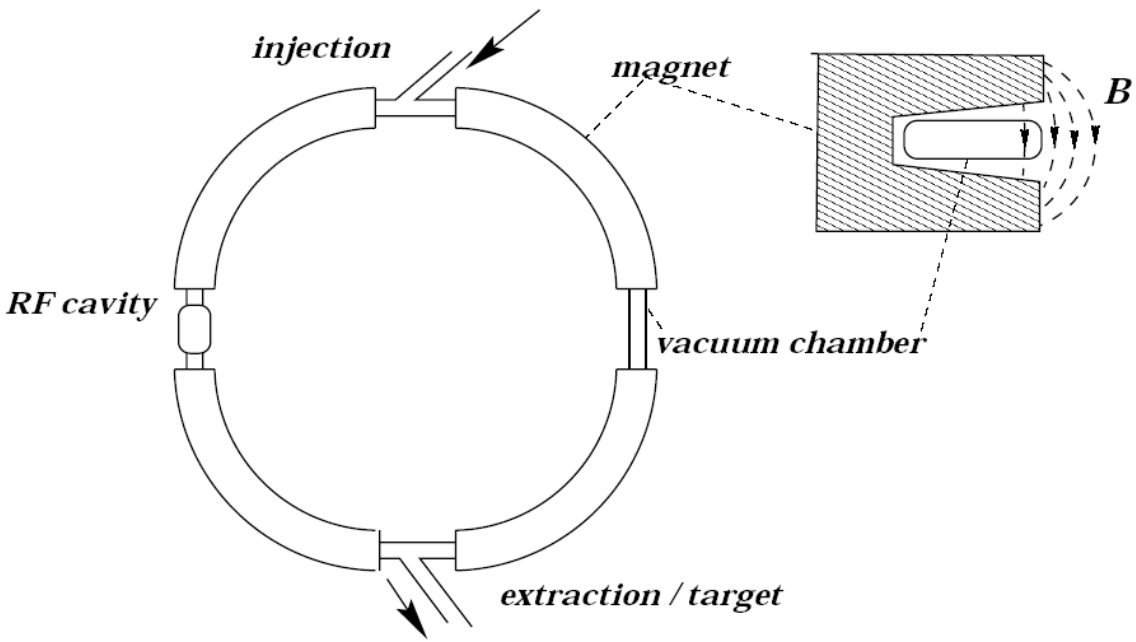
$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \tag{1}$$

De la ecuación anterior se desprende que necesitamos un campo eléctrico para acelerar las partículas. La unidad de energía es electrón-voltio (1 eV es la energía ganada por un electrón al atravesar una diferencia de potencial de 1 voltio).

Esquema Básico de un Acelerador

A grandes rasgos un acelerador consta de:

- Elementos a través de los que circulan las partículas.(cámara de vacío)
- Elementos que aceleran las partículas (cavidades de radiofrecuencia)
- Elementos que guían las partículas (dipolos, cuadrupolos,etc.)
- Elementos que miden las partículas (monitores de posición, etc.)



Sincrotrón

Los Sincrotrones se utilizan en la mayoría de experimentos de física de altas energías (HEP). Ejemplos son LHC, Tevatron, HERA, LEP, SppS, CERN PS y también en fuentes de luz síncrotra. La aceleración se realiza mediante cavidades de radio-frecuencia. La frecuencia de las cavidades de RF debe seguir la frequencia de la partícula a medida que se incrementa la energía



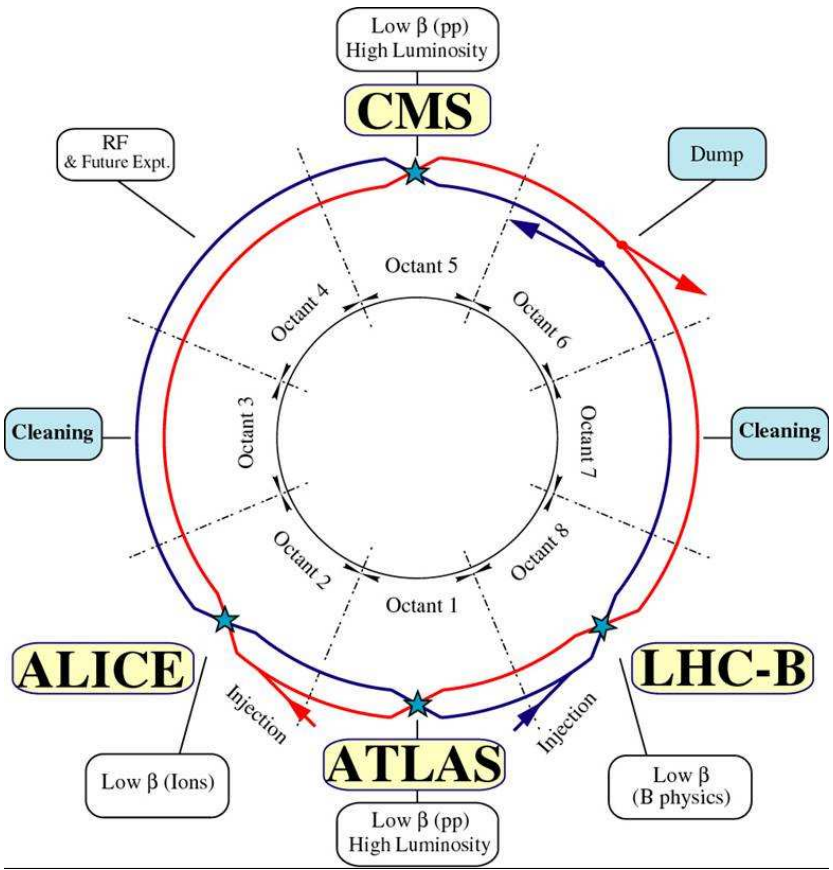


Algunos hitos de la historia de los Colisionadores

- **CERN ISR**: protón-protón a 64 GeV (1971-1984) Primer colisionador de hadrones
- **CERN SppS**: protón-antiprotón a 620 GeV (1981-1990) Descubrimiento de los bosones W (81 GeV) y Z(91 GeV)
- **Fermilab Tevatron**: protón-antiprotón a 1.96 TeV (1987-actualidad) Descubrimiento del Top Quark (172 GeV)
- **CERN LHC**: protón-protón 7 TeV inicial, 14 TeV diseÃśo (2009-actualidad) Entre otros descubrimiento del bosón de Higgs, Supersimetría, Dimensiones extras, etc.

Una lista más completa, incluyendo no sólo sincrotrones puede encontrarse en,
`http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_accelerators_in_particle_ph`

Gran Colisionador de Hadrones (LHC)



LHC está dividido en 8 zonas (octantes)

- 4 puntos de colisión (1,2,5,8)
- 2 zonas para limpiar el haz de partículas (3,7)
- 2 zonas para inyectar las partículas (2,8)
- 1 zona para acelerar las partículas (4)
- 1 zona para extraer las partículas (6)

Evaluación del funcionamiento de un colisionador

El funcionamiento de un colisionador de altas energías se mide mediante la energía a las que se producen las colisiones y la luminosidad. El segundo depende entre otros parámetros en número de partículas, tamaño del haz, etc.

$$L = \frac{N_b^2 n_b f \gamma}{4\pi \epsilon_n \beta}$$

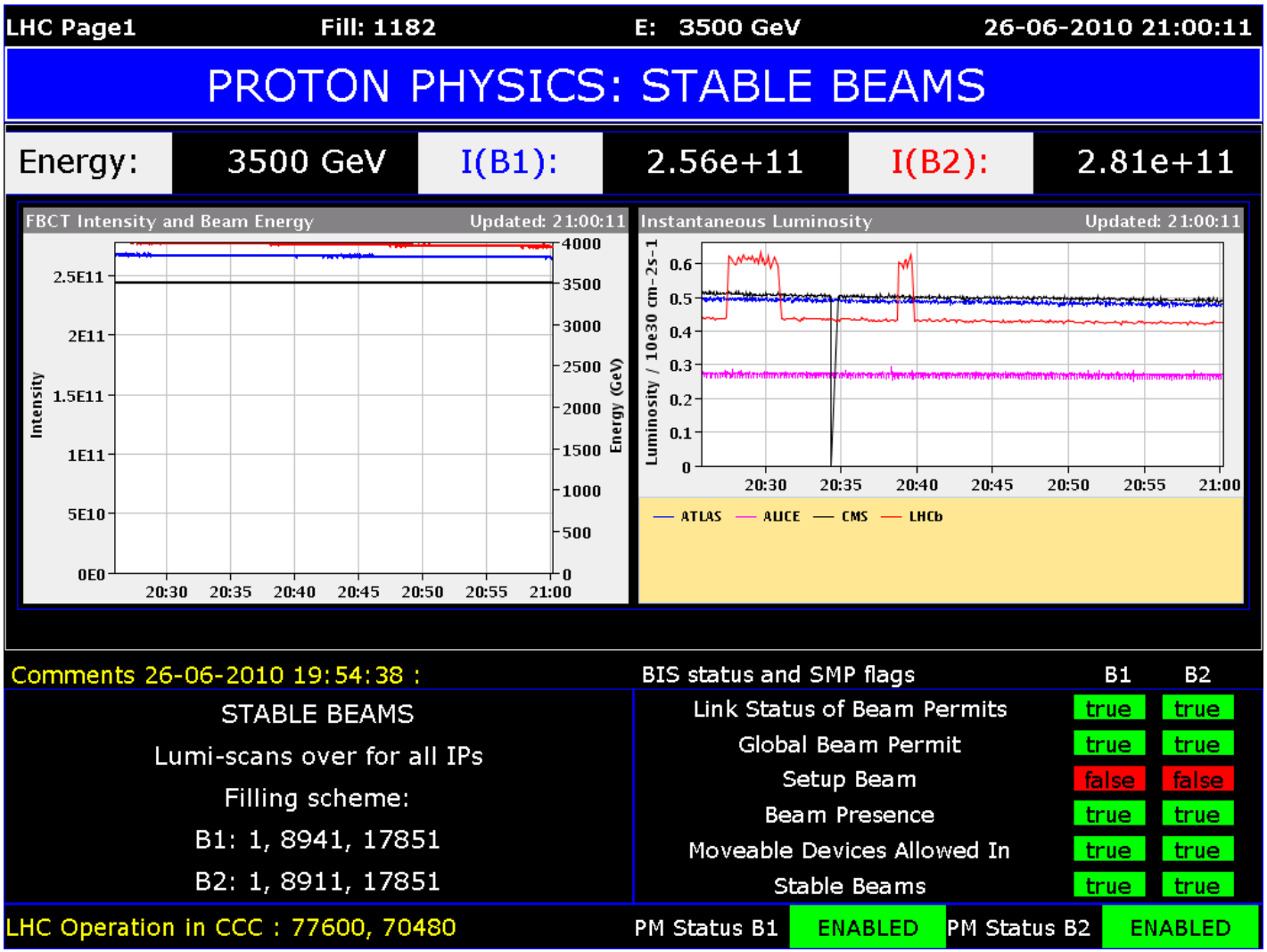
La luminosidad nominal para el LHC es,

$$L_{nom} = 10^{34} cm^{-2} s^{-1}$$

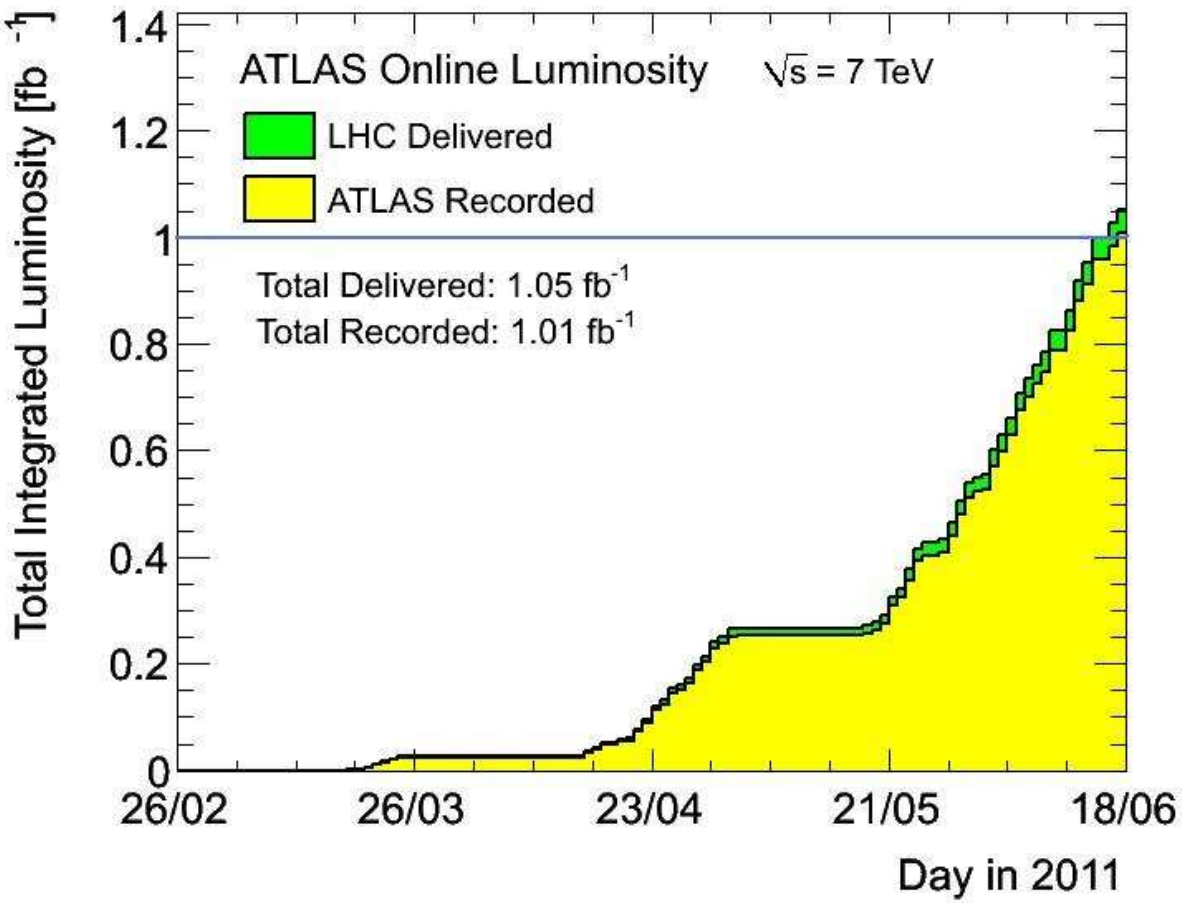
Para seguir en directo una estimación real del número de colisiones que ocurren en cada experimento podeis ir a este link,

http://lhc-webcast.web.cern.ch/lhc-webcast/

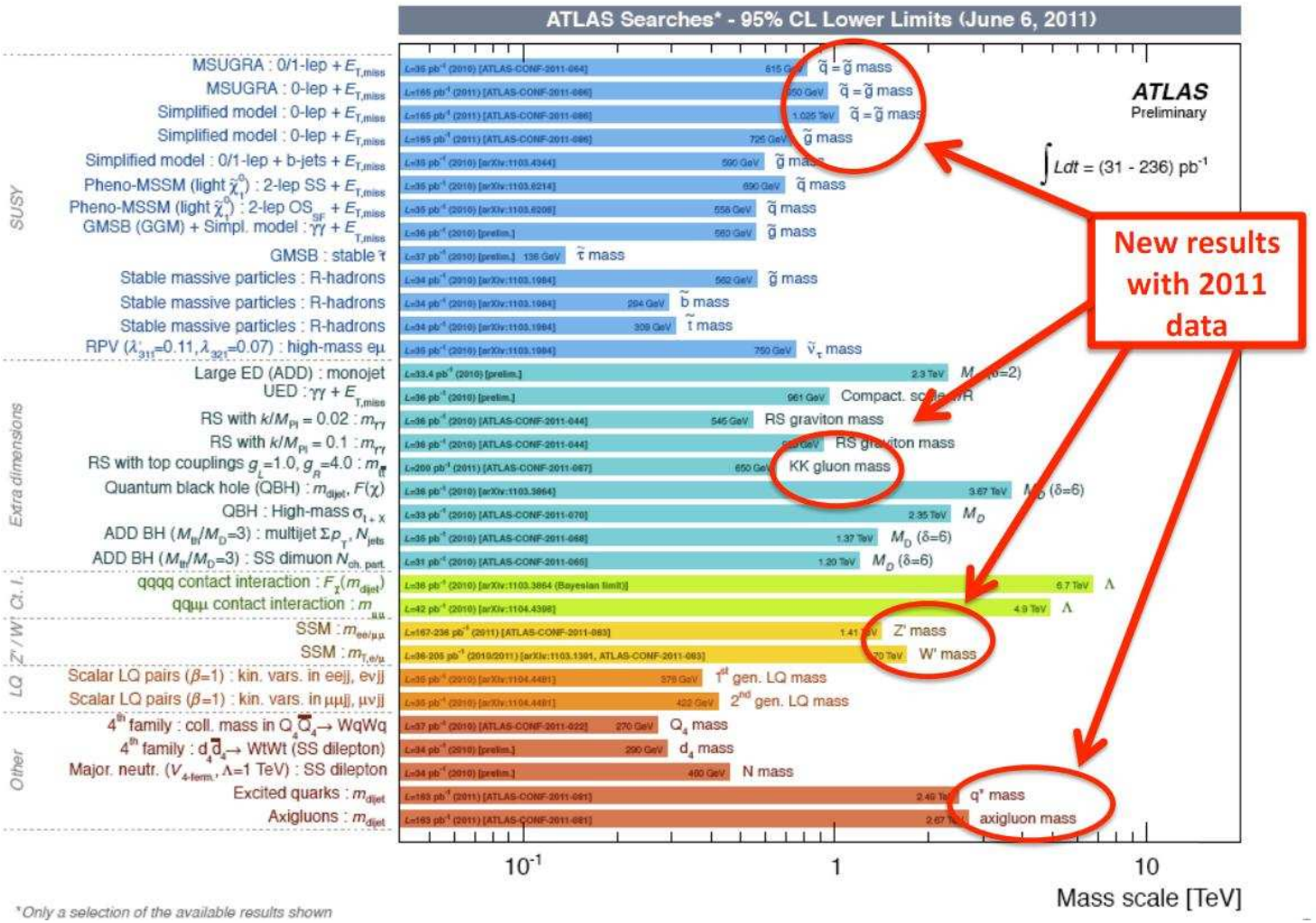
Evaluación del funcionamiento de un colisionador



Recientes logros del LHC

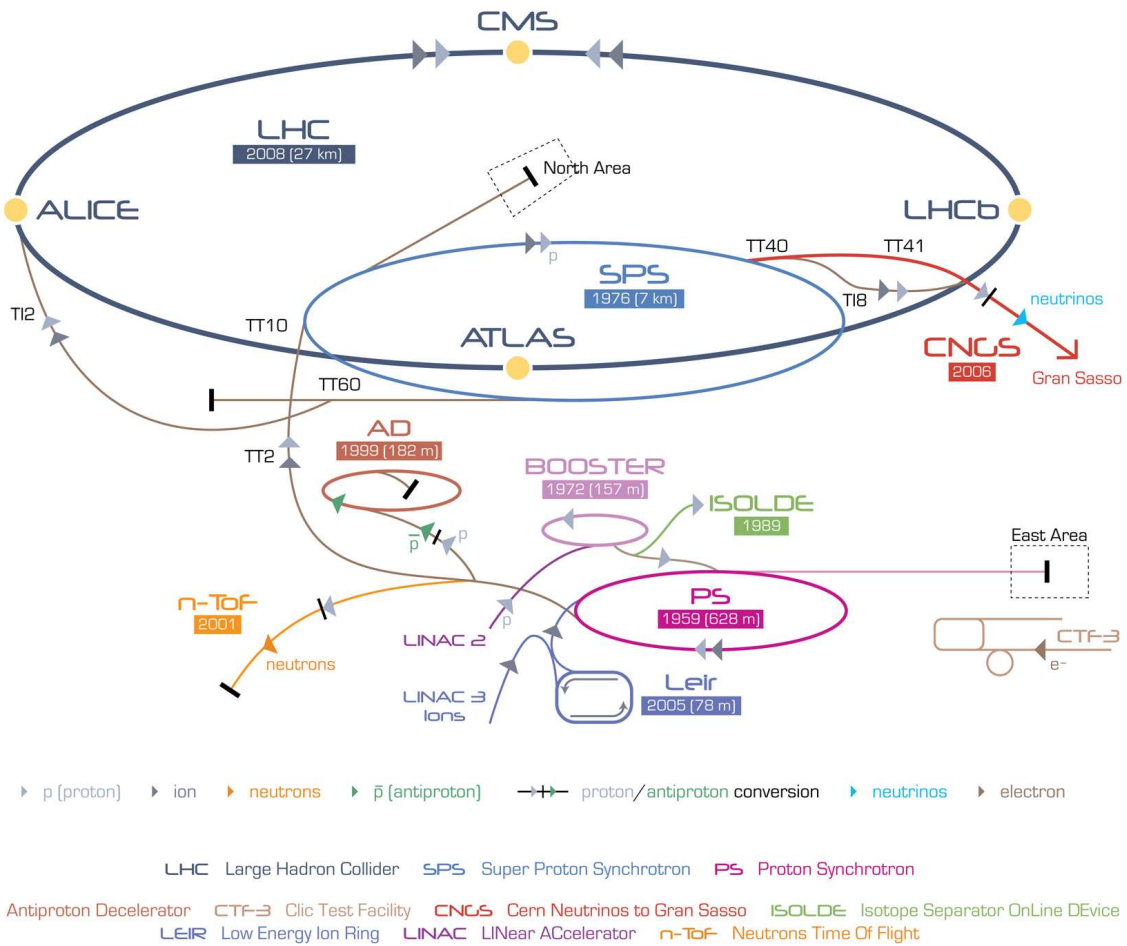


Recientes logros del LHC



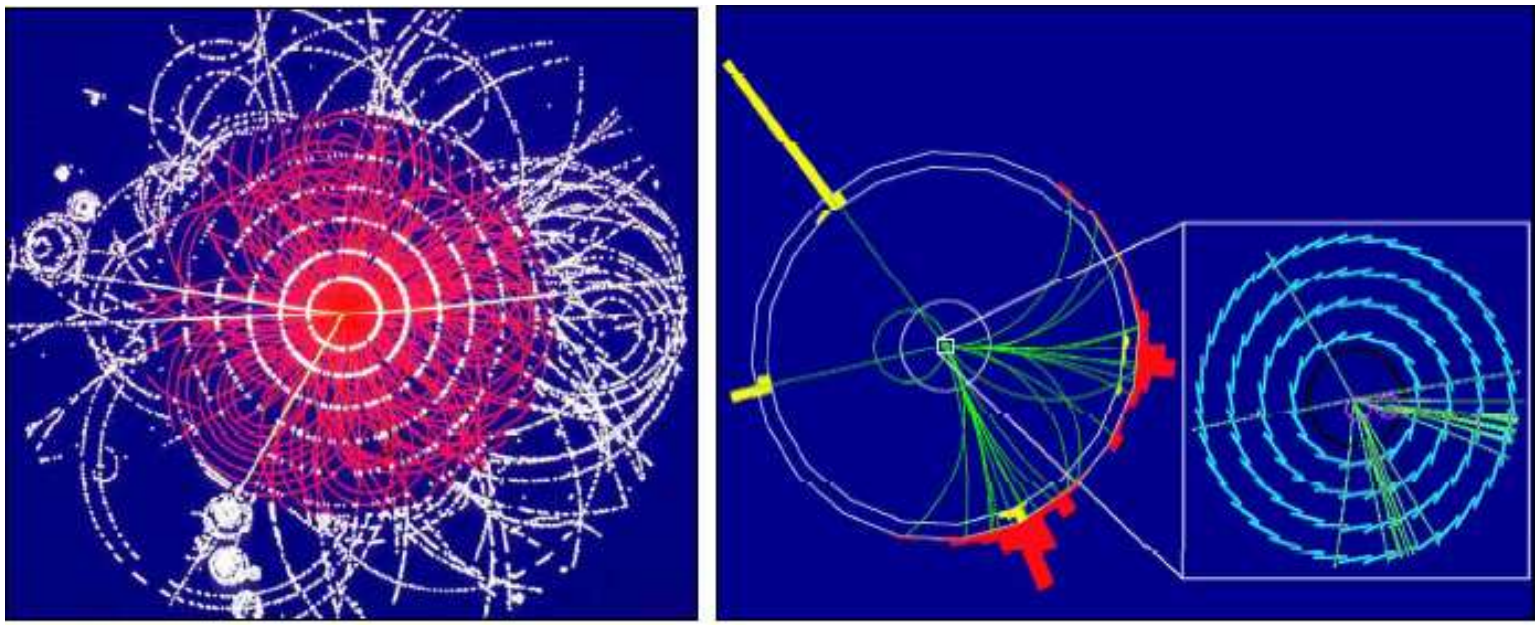
Complejo de Aceleradores del CERN

El complejo de aceleradores del CERN es mucho más que el LHC. A diferentes energías hay varios experimentos.



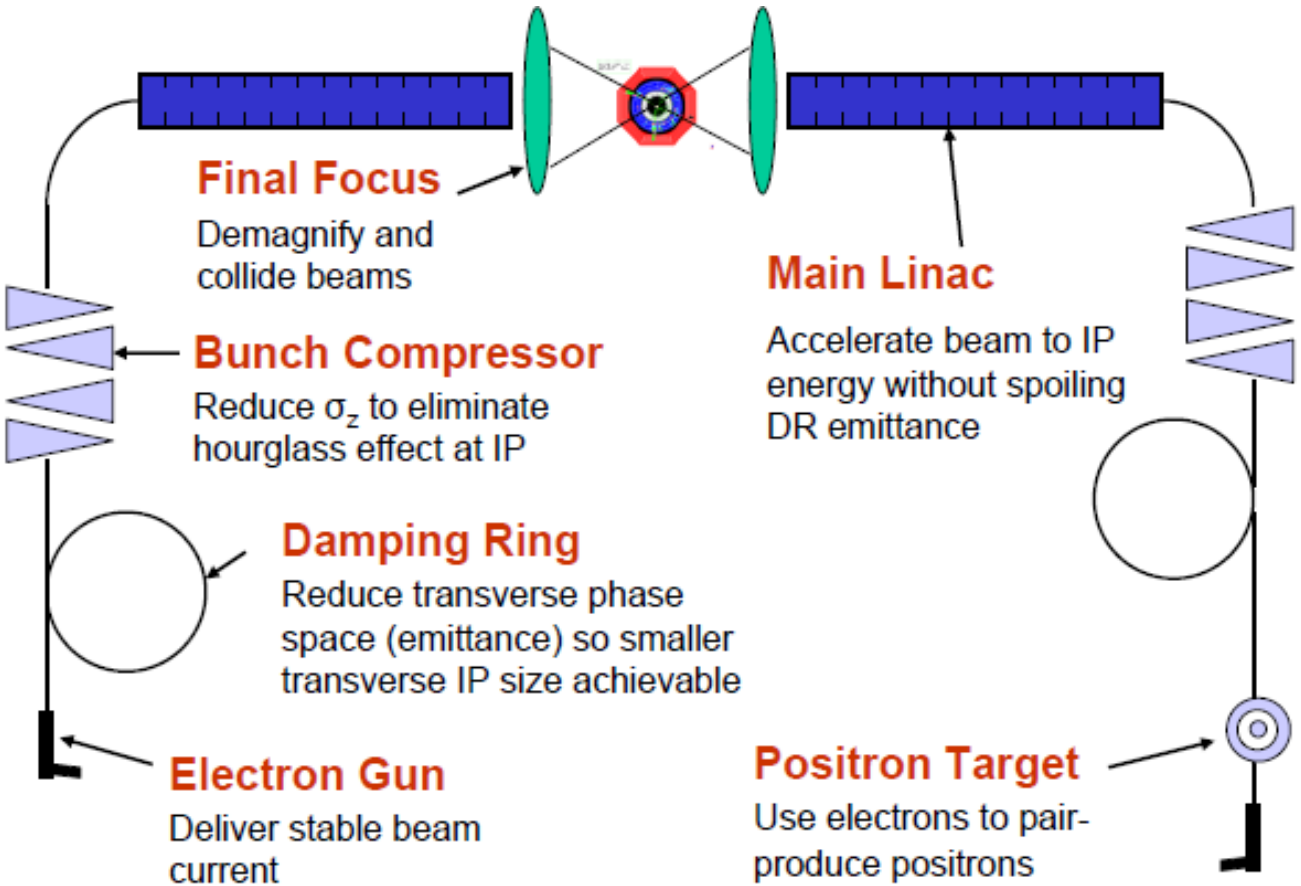
¿Por qué un acelerador lineal?

Comparación de la simulación de un evento Higgs en LHC y ILC.
LHC es descubrimiento mientras que ILC es precisión.

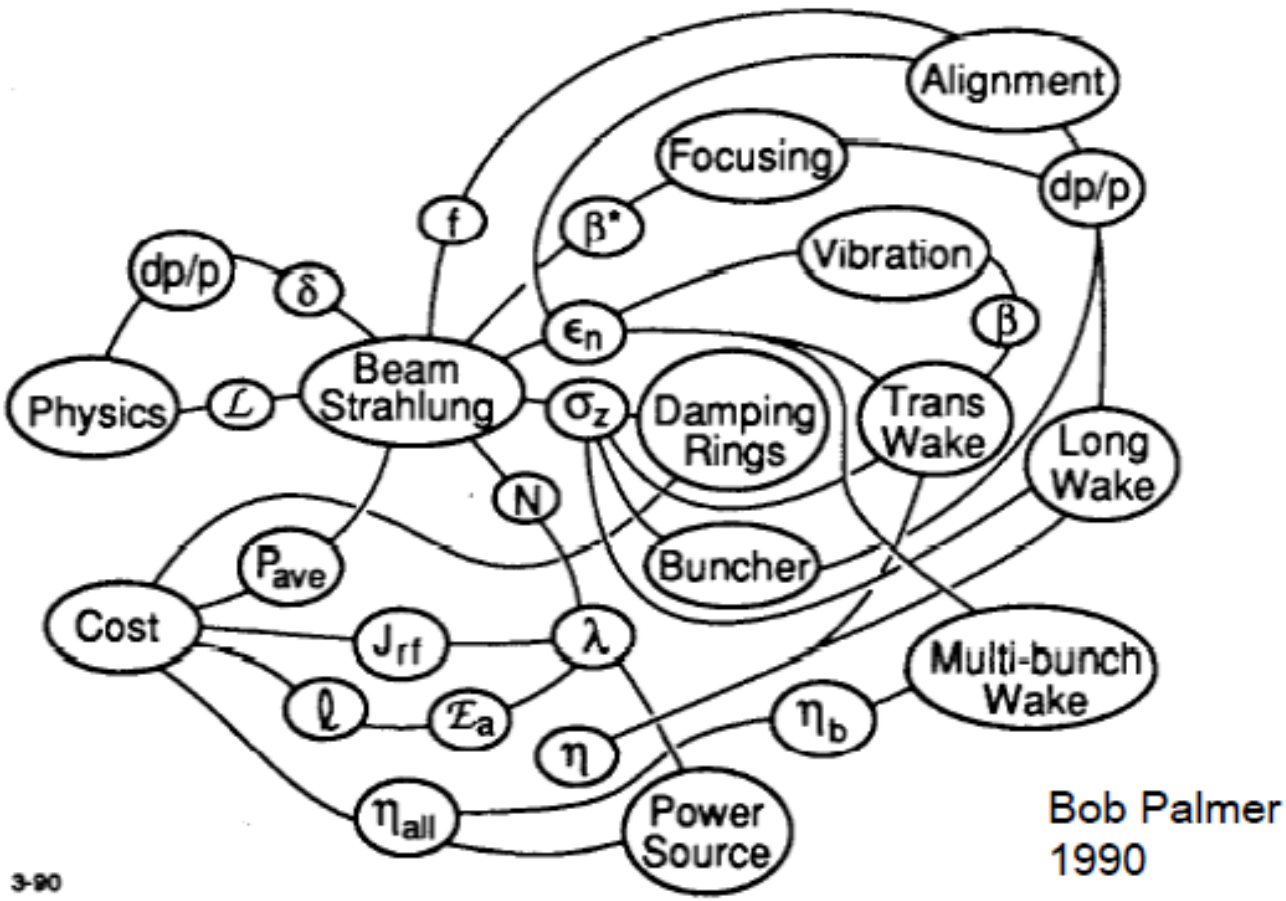


LHC ILC

Esquema de un colisionador lineal

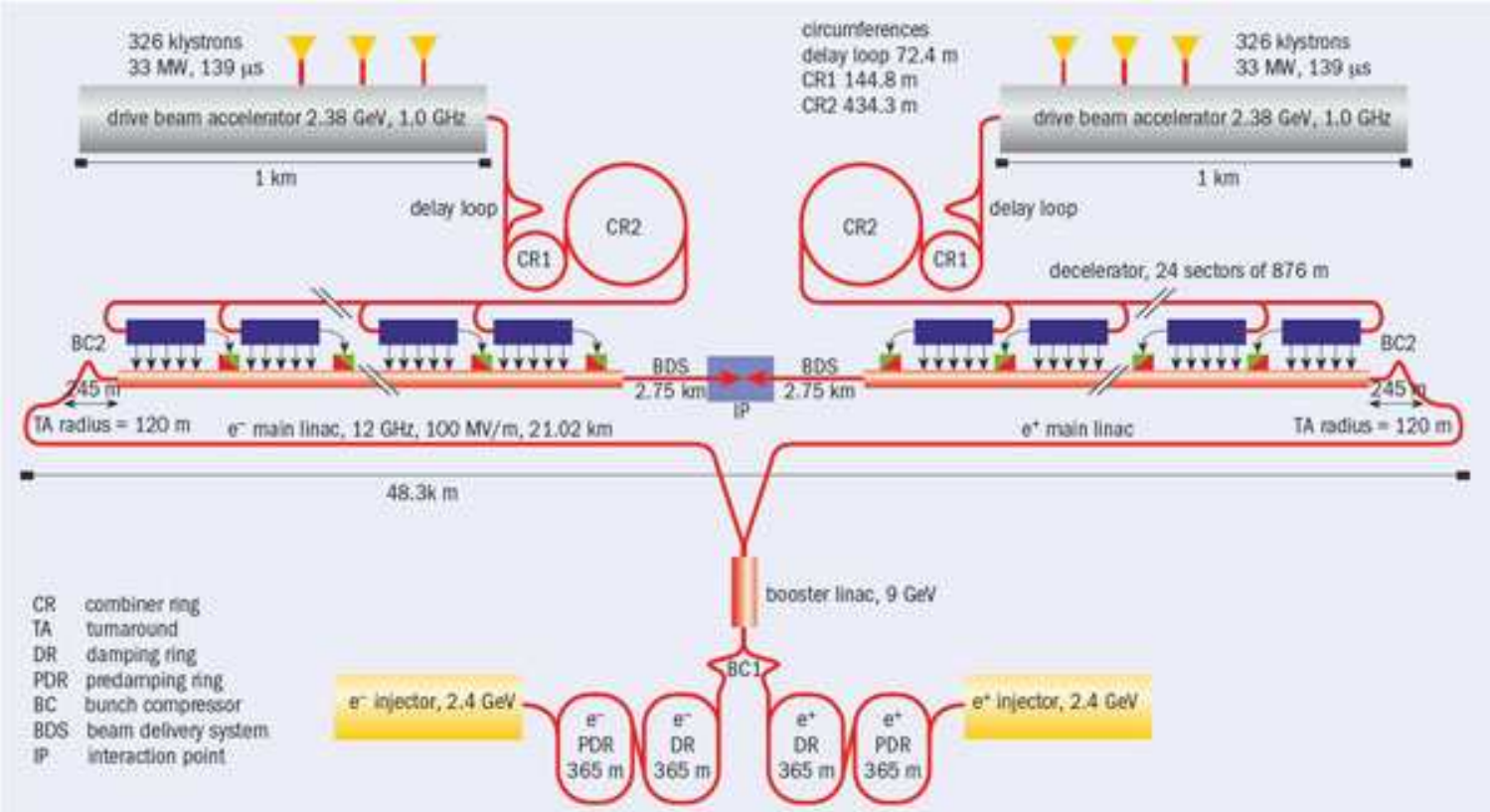


Diseño de un colisionador lineal

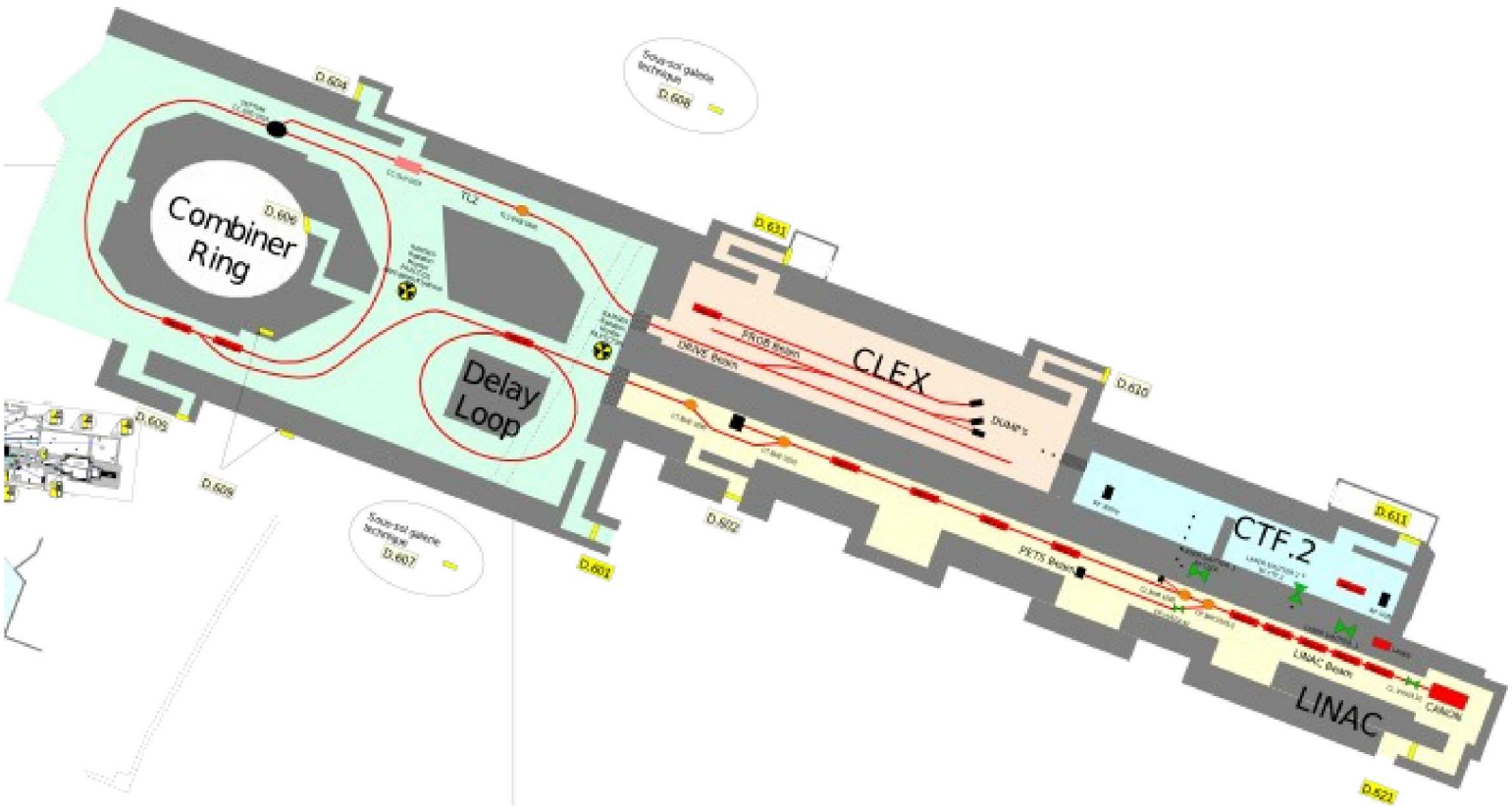


Compact LInear Collider

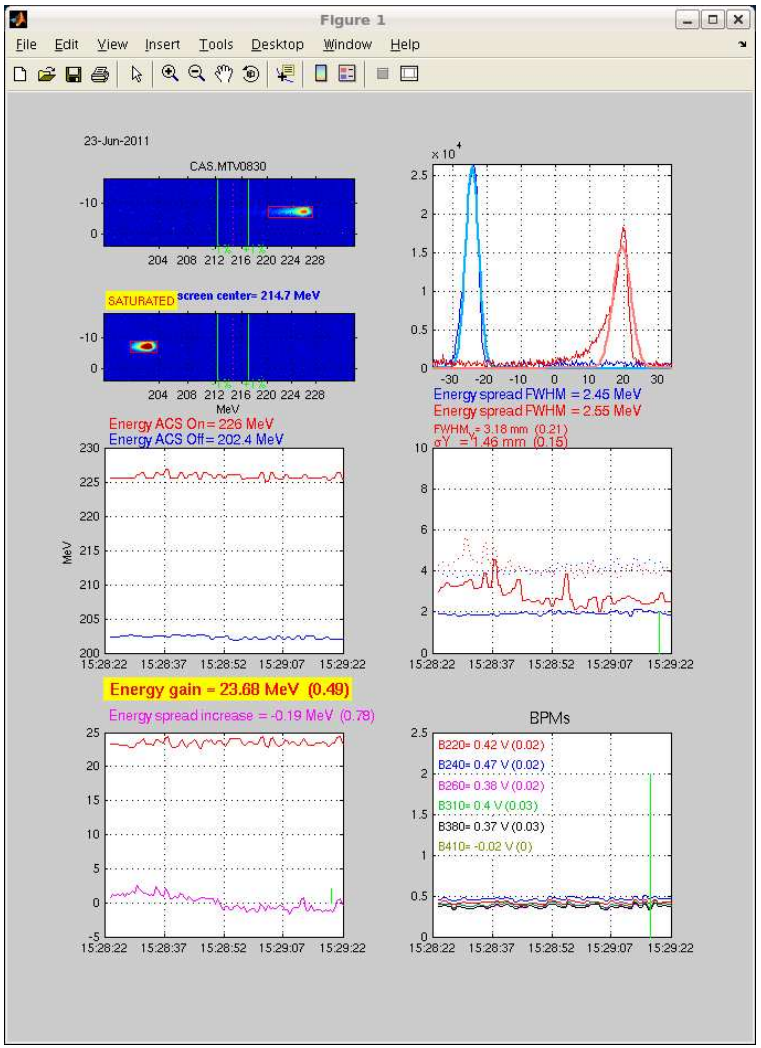
CLIC es la apuesta del CERN para el próximo colisionador lineal e^+e^-.



CLIC Test Facility 3 (CTF3)



CLIC Test Facility 3 (CTF3)

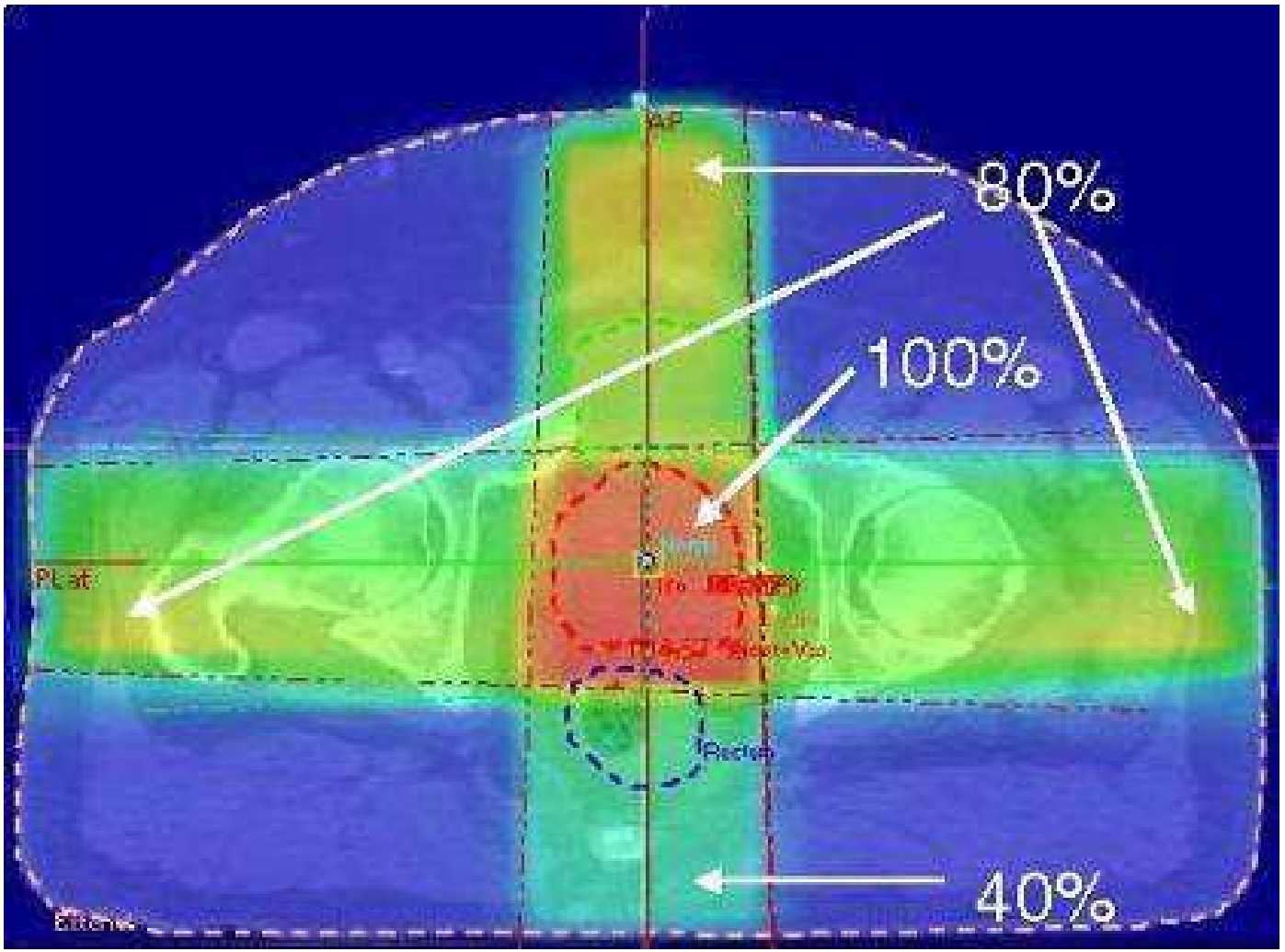


Aceleradores con fines médicos

Dos aplicaciones básicas

- Terapia
  - En las últimas décadas se han utilizado aceleradores de electrones (también fotones) en terapias contra el cáncer de manera exitosa.
  - Actualmente se ha cambiado a protones e iones (hadrón terapia) ya que la deposición de energía puede ser controlada de forma más precisa. Inconveniente: diseÃśo más exigente.
- Imagen
  - Producción de isótopos para PET escaners (ciclotrones).

Efecto de la radiación con Fotones/Electrones

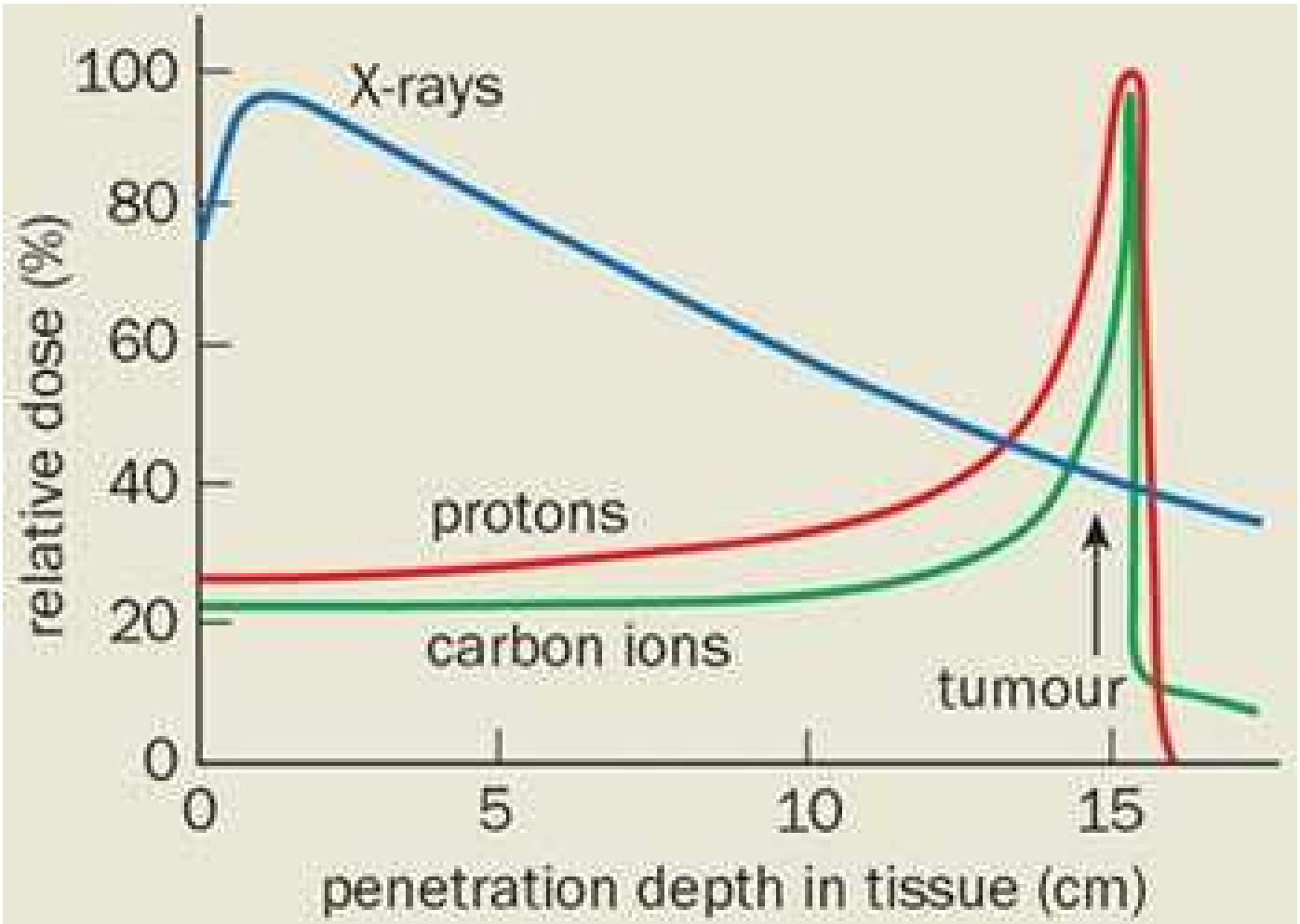


Diferentes Técnicas de Radiación

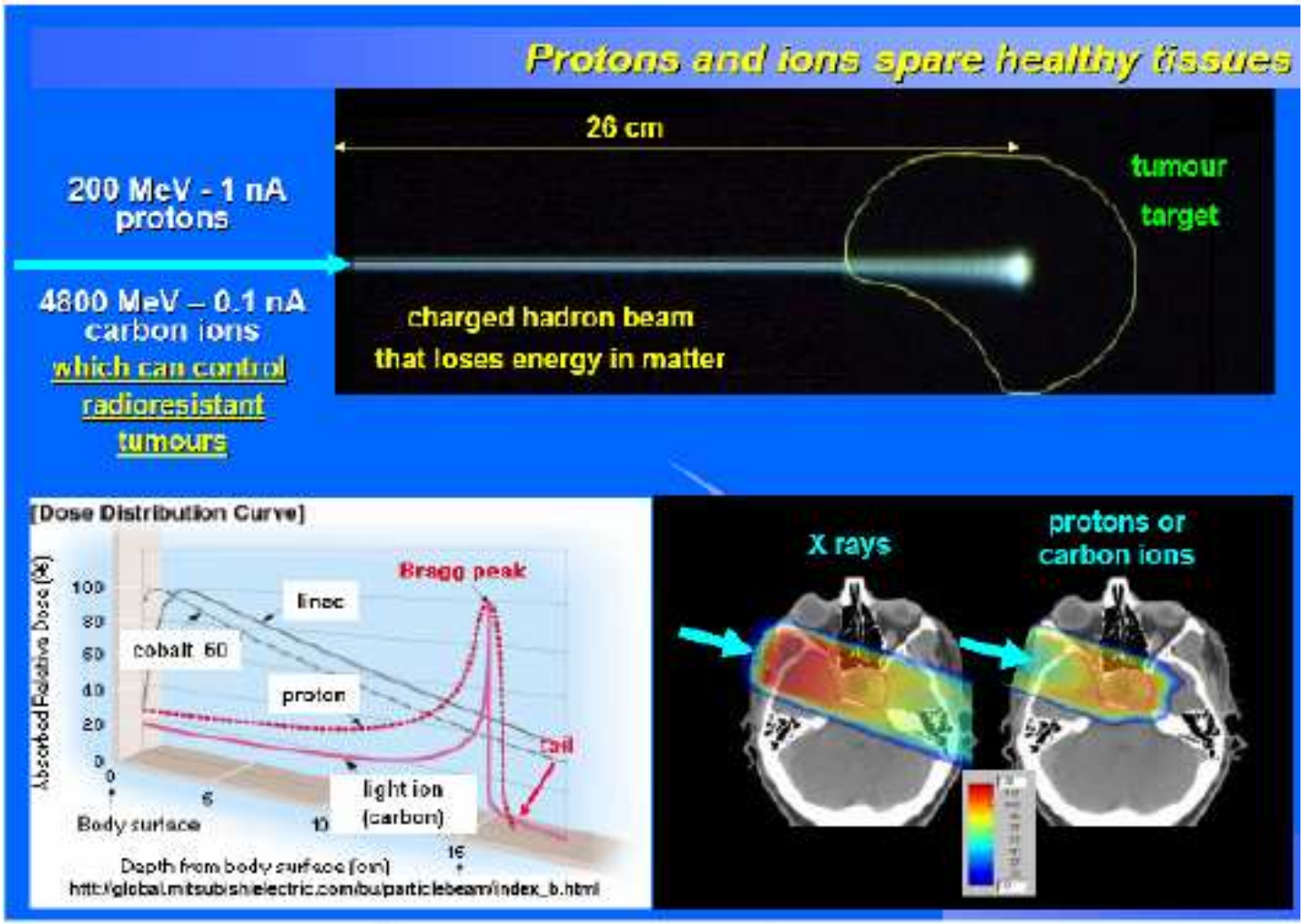


1. **Radioterapia Convencional**
2. **Radioterapia tridimensional**
3. **Radioterapia con modulación de la intensidad**

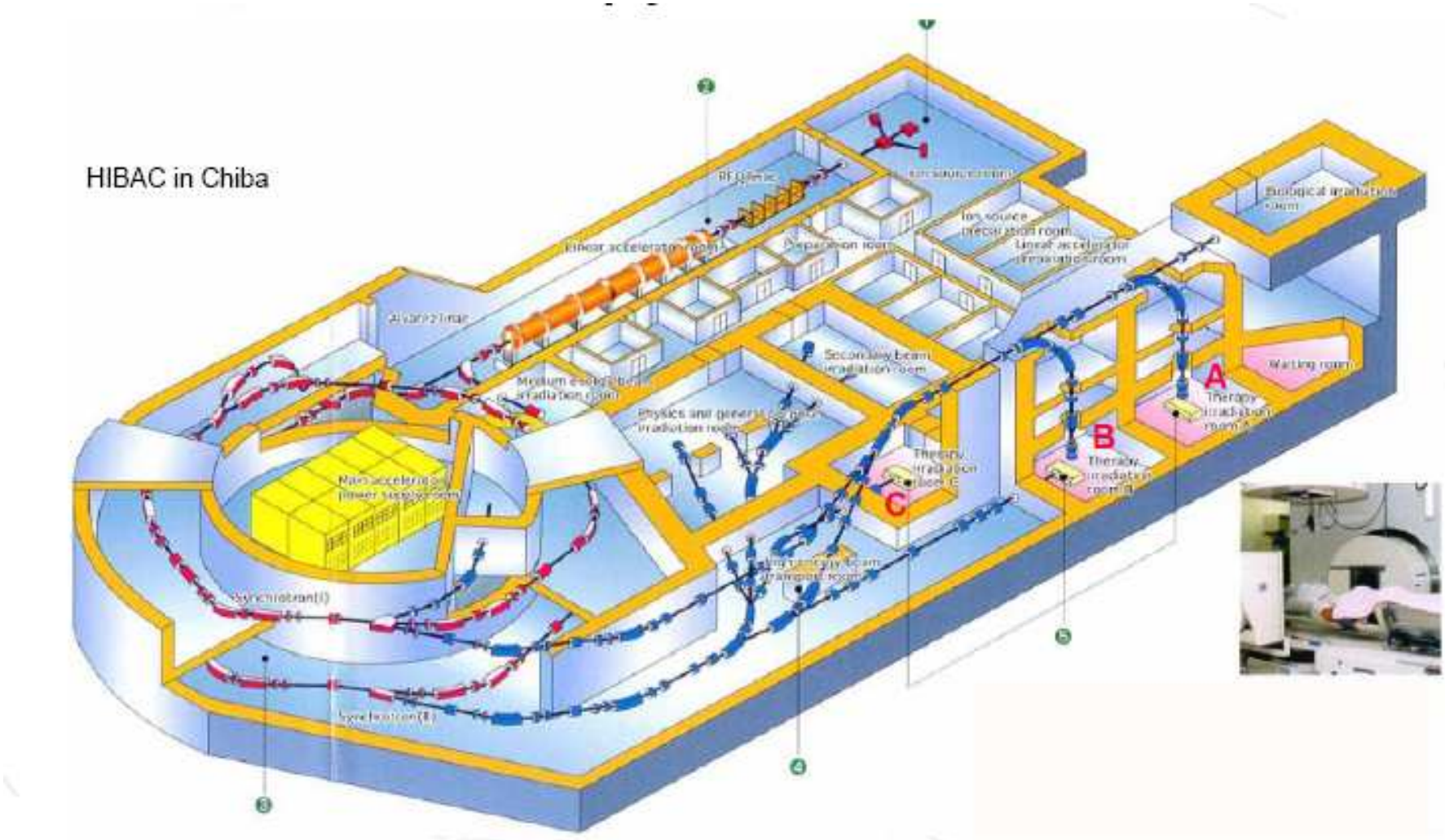
Ventajas del uso de protones o iones: Bragg Peak



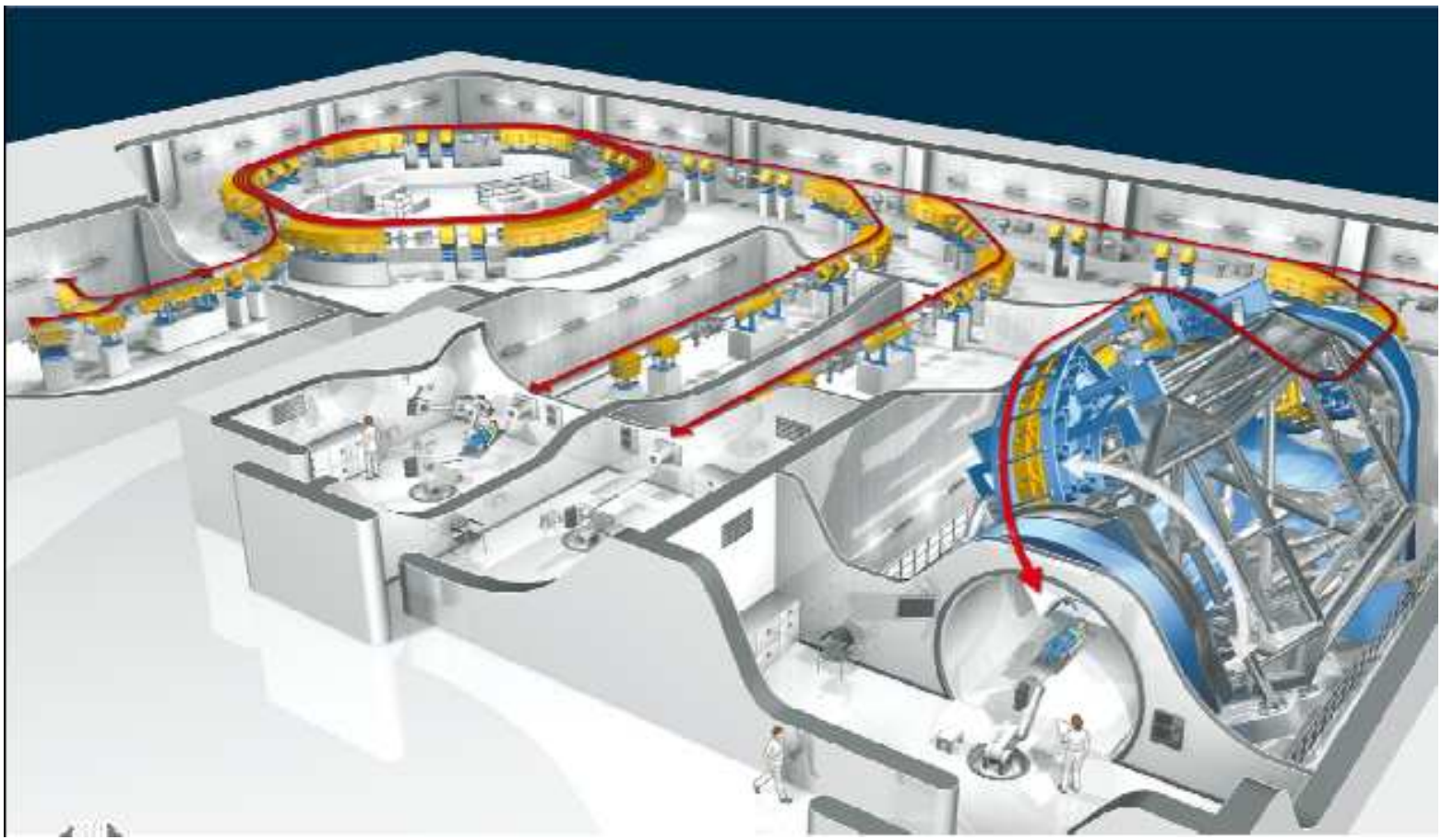
Ventajas del uso de protones o iones: Bragg Peak



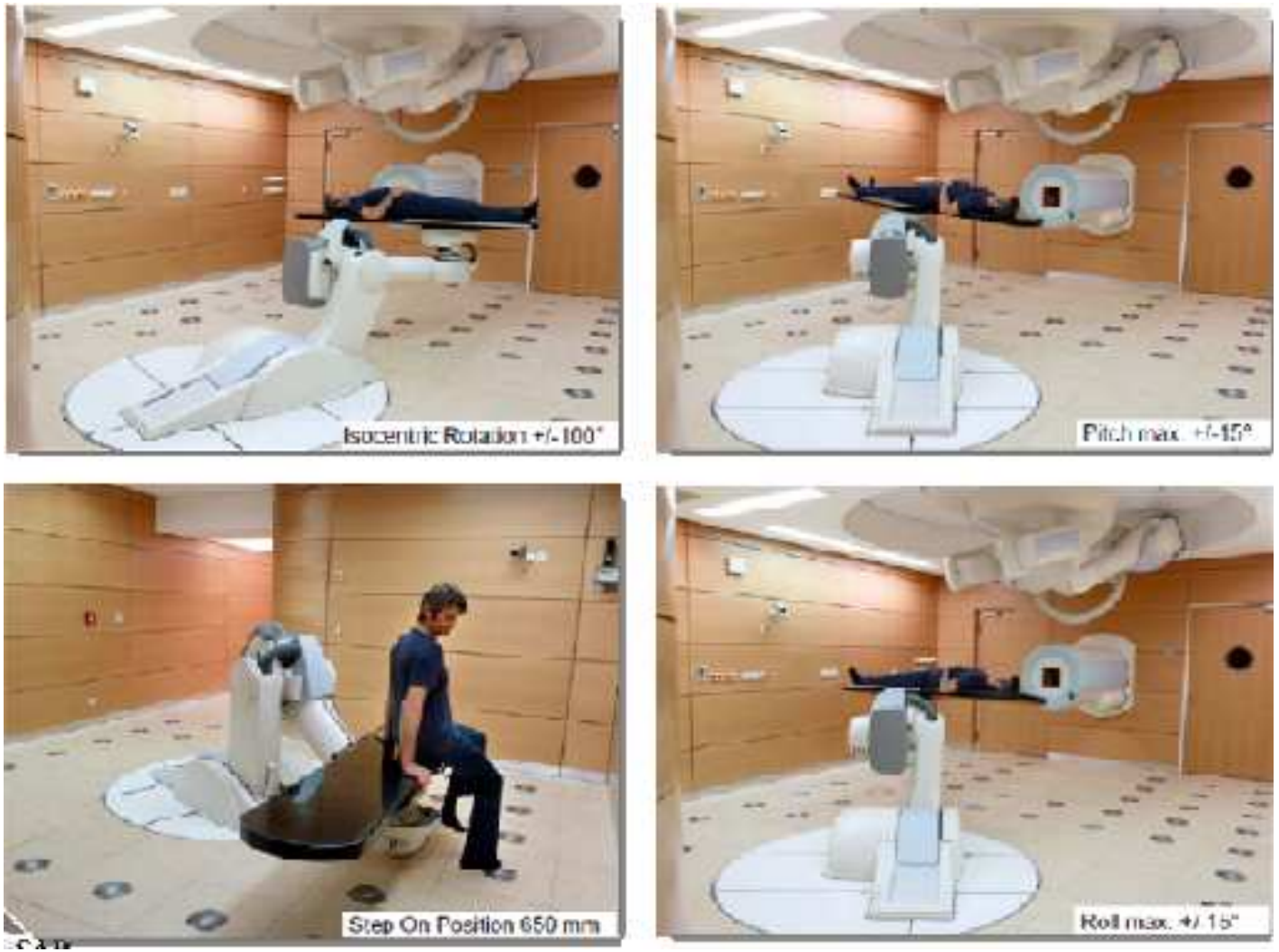
Ejemplo de centro de protón/ion terapia



Ejemplo de centro de protón/ion terapia



Ejemplo de centro de protón/ion terapia



Ejemplo de centro de protón/ion terapia

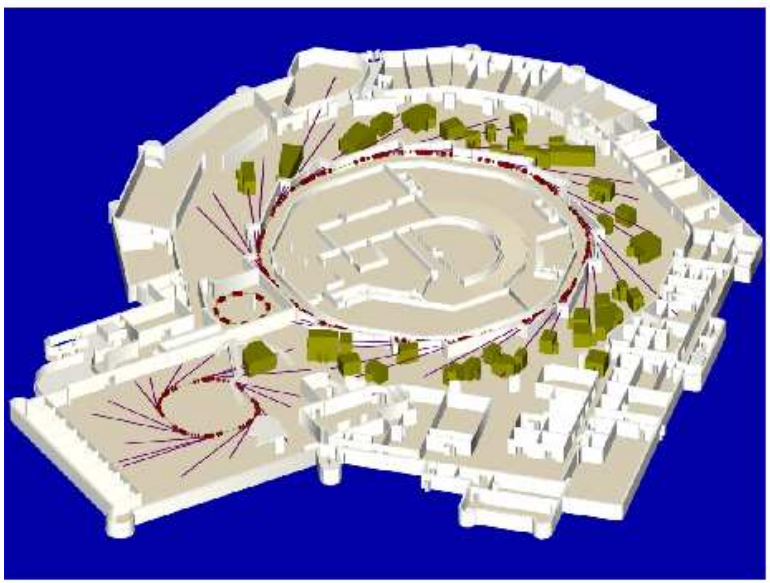


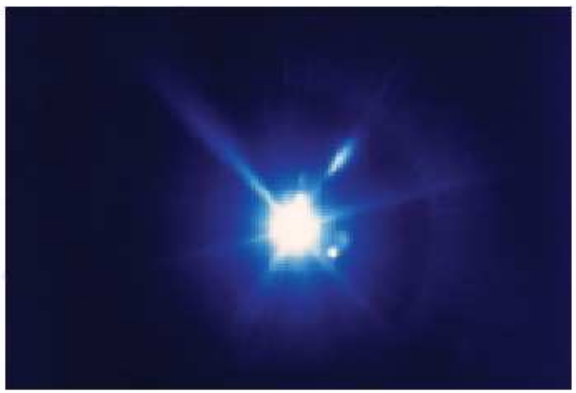
Protón terapia en el mundo

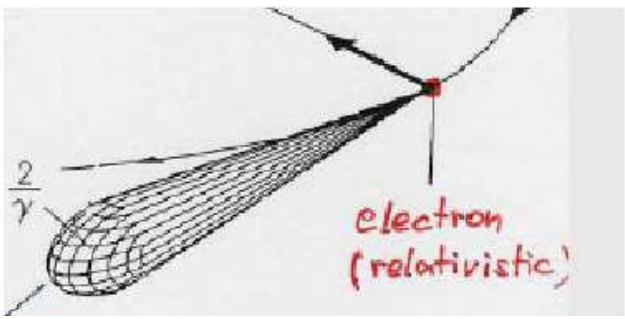


Fuentes de luz síncrotron

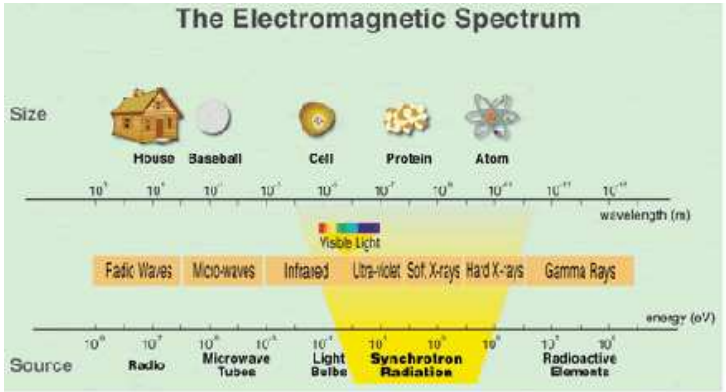
En las últimas dos décadas ha aumenta significativamente los centros que utilizan la radiación emitida (i.e. luz intensa) por los electrones para hacer gran variedad experimentos (composición de cremas, ciencia de materiales, etc.)
El rango frecuencias es muy amplio (visible o no).

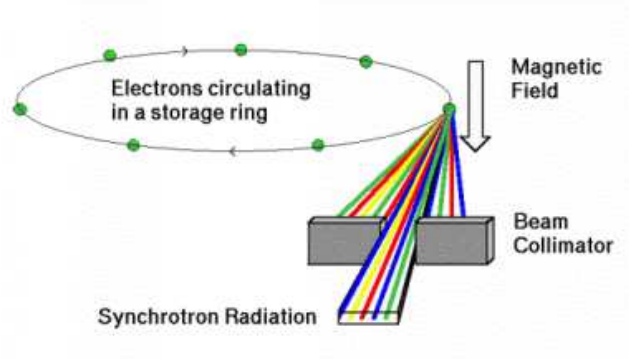




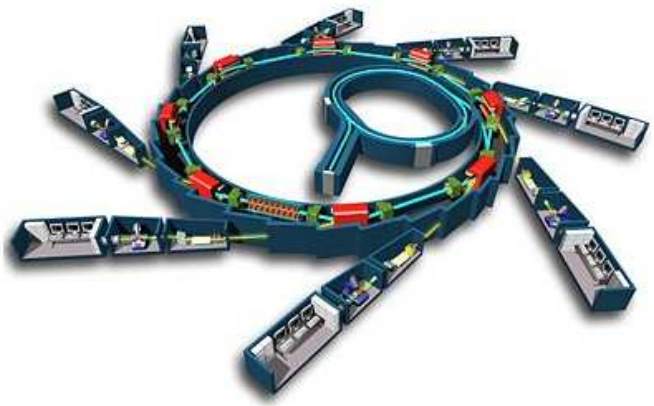


Fuentes de luz síncrotron





Cerca de Barcelona, en Bellatera se inauguró la primera fuente de luz síncrota de España el 22 de Marzo de 2010.





Ejemplos de uso de radiación sincrotrón

Napoleón



En junio de 2001, estudios con luz de sincrotrón confirmaron un contenido de arsénico 38 veces mayor que lo normal en cabello tomados después de su muerte (1821). No contentos con el resultado, la revista *Science et Vie* comisionó a un grupo de expertos para realizar las pruebas en cabello de Napoleón de 1805, 1814 y 1821. En todas estas muestras se encontraron niveles de arsénico muy altos (entre 15 y 100 partes por millón, mientras en condiciones el promedio es 0.8). Estos resultados sugirieren que el envenenamiento no fue la causa de su muerte.

Beethoven



En 2000, físicos del Laboratorio Nacional de Luz de Sincrotrón de Argonne (Chicago), realizaron un experimento no destructivo en seis cabellos de Beethoven. Se encontraron elevados niveles de plomo, de hasta 60 partes por millón, lo que es más de 100 veces mayor a los niveles normales de la actualidad. Aunque no sabe con seguridad de donde provenía el plomo, su presencia es consistente con la sintomatología de calambres, fiebre, abscesos y dolor en los ojos. El padecimiento le ocasionó sordera y debió haber impactado en su personalidad.

Links de videos

Los links de los videos mostrados durante la conferencia y alguno adicional,

- Complejo de aceleradores del CERN
  - En inglés: `http://cdsweb.cern.ch/record/1125472`
  - En inglés con subtítulos en francés: `http://cdsweb.cern.ch/record/1179452`
- Neutrinos a Gran Sasso (CNGS)
  - Largo: `http://cdsweb.cern.ch/record/985891`
  - Corto: `http://cdsweb.cern.ch/record/986729`
- Fuente de luz síncrota ALBA
  - `http://www.cells.es/alba-video`
- Aceleradores con fines médicos
  - `http://www.youtube.com/watch?v=hzl3oo-Lxck&feature=related`
  - `http://www.youtube.com/watch?v=yd76FIL9NjE&feature=related`
  - `http://www.youtube.com/watch?v=Ai_0QVuGPL4&feature=related`

Lecturas adicionales sobre PET

Algunos artículos para completar lo visto en clase,

- http://www.alasbimn.net/comites/tecnologos/material/Fundamentos_PET.pdf
- http://www.cirujanosdechile.cl/Revista/PDF%20Cirujanos%202003_01/Cir.1_2003%20Tomograf%EDa%20positrone.pdf
- http://www.cetir.es/repositori/imatges/Ponencia.1.pdf

Muchas Gracias por su Atención!
Cualquier duda,

javier.barranco@cern.ch