

## ¿QUÉ ES EL CERN? ¿QUE ES EL LHC?

Jorge Aldama (Comisión Técnica de la SNE)

**El CERN** es el “Centro Europeo de Investigación Nuclear”, está situado en Ginebra, y contiene el **LHC** o “gran colisionador de Hadrones”, que es un acelerador de partículas, el mayor del mundo.

En el colegio se estudia que la materia está compuesta de átomos, y cada átomo está formado por un núcleo, lleno de protones y neutrones, y unos electrones girando alrededor. Estas partículas, protones, neutrones y electrones son pequeñísimas y se descubrieron por sus trazas, a base de “bombardear” la materia con radiación electromagnética o partículas/proyectiles ya conocidas. A mitad del siglo pasado se postuló, y se vio, que había otras partículas elementales, si bien algunas de vida muy corta. Era necesario conseguir partículas/proyectiles con más energía, es decir con más velocidad, para poder descubrir y analizar estas nuevas partículas: quarks, muones, neutrinos, positrones, bosones.... Para conseguir más velocidad obviamente hay que acelerar las partículas.

Las partículas cargadas (electrones, protones, partículas alfa) se aceleran mediante campos eléctricos. Estas partículas/proyectiles se colocan en un recipiente, un tubo, que es el acelerador, con forma recta o curva; para curvar la trayectoria de las par-

tículas se necesita un campo magnético. Dentro del tubo no puede haber aire ni otro tipo de partícula diferente a la empleada en el experimento. Se debe trabajar en condiciones de vacío. En el mundo hay unos 50 grandes aceleradores. El objetivo es tan “práctico” como el ir a la luna, pero así es la ciencia básica.

En 1954 los europeos se ponen de acuerdo para, entre todos, hacer un centro de investigación nuclear europeo (CERN) en Ginebra, independiente de los americanos, para el estudio de la física de partículas. Empezaron doce países, España entró en 1961, se retiró en el 1968 y volvió en el 1983, ahora hay 22 países y la cuota es función del PIB. España es el quinto contribuyente detrás de Alemania, Reino Unido, Francia e Italia, con una cuota del 7% del total (2019). Hay 3.500 empleados y 15.000 investigadores estacionales.

El CERN empezó su actividad en el año 57 con un “sincrociclotrón” de 8 metros de diámetro (figura 1), luego construyó otros en forma de Donuts, el IPS y el SPS, y actualmente todo forma un sistema para alimentar el LHC, de un diámetro de 8 km, igual que el túnel que lo contiene. En la fig. 2 se ve un esquema de los aceleradores circulares, los detectores (ALICE, CMS, LHCb y ATLAS) y la inyección de partículas, “p” para protones y “Pb” para plomo.

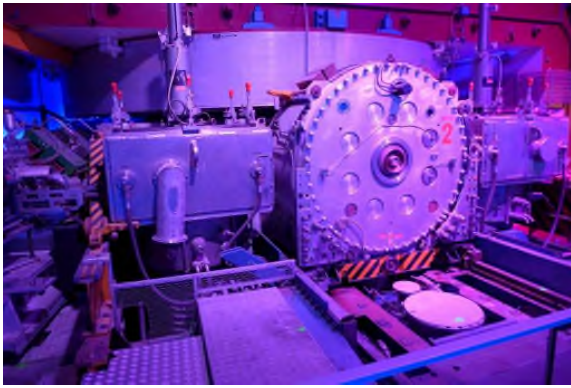


Figura 1. Sincrociclotrón

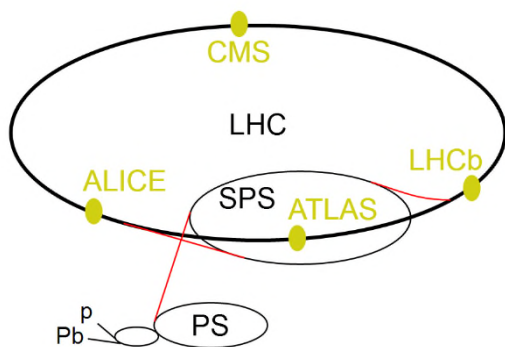


Figura 2. Esquema actual de aceleradores

**El LHC** es un tubo en forma de donut, de 50 cm de radio en la sección recta, que está dentro de un túnel casi circular de unos 27 km de longitud (8,5 km de diámetro) y 3 metros de altura.



Figura 3. Vista aérea entre los dos países

El túnel está situado entre Ginebra y Francia (figura 3), a una profundidad media de 100 m con una inclinación de 1,4 grados; hay varios “pozos” o estaciones, para bajar los equipos y el personal (figura 4).

¿Por qué un diámetro tan grande? En principio el túnel se hizo para un tubo con electrones (acelerador LEP que funcionó desde 1989 hasta el año 2000) y para estos es crítico el tamaño, si el radio es pequeño se pierde mucha energía por radiación, en cambio los protones no pierden tanta, pero cuanto más grande sea el radio, menor es la fuerza que hay que hacer para mantenerlo girando, y esta fuerza la da el campo magnético, o sea si es más pequeño necesitaríamos más campo magnético, y el existente ya es muy alto, (la magnitud, para los expertos, es de 8 teslas) y además como el túnel ya estaba hecho... incluso se pensó en mantener los dos aceleradores, LEP y LHC, pero al final se descartó la idea.

Las partículas en el LHC tienen una energía 65 veces superior a las del LEP.

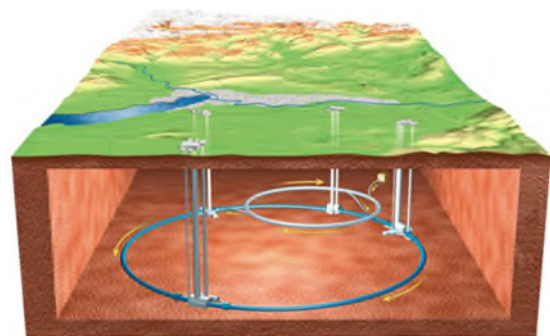


Figura 4. Vista en sección



Figura 5. El tubo dentro del túnel

El tubo de 50 cm tiene dentro otros dos tubitos de 5,6 cm de circunferencia, separados 20 cm, que son los importantes, los que llevan las partículas/proyectiles, los protones, durante 8 meses del año, y los núcleos de plomo ionizado un mes del año, los otros 3 meses están de mantenimiento (figuras 5 y 6). Los protones giran a una velocidad cercana a la de la luz, en un segundo dan 11.000 vueltas al circuito. En uno de los tubitos los protones giran en un sentido y en el otro tubo en sentido contrario. Hay cuatro estaciones donde los haces se cruzan para provocar el choque de unos protones con otros y detectar las partículas resultantes.

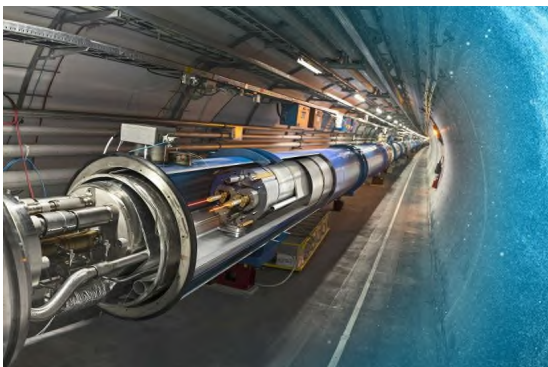


Figura 6. Una sección del tubo

No todo el tubito está igual de lleno de protones, la mayor parte está con un vacío muy alto, los protones son inyectados en 2.800 paquetes de 75 mm de largo, por 1 mm de alto y 1 mm de ancho, separados en general cada uno por 7 metros de vacío.

Una vez inyectados y estabilizados los protones, operación que dura quince minutos, se mantienen girando varias horas, unas 10 de media, antes de proceder a una limpieza.

En cada paquete hay  $10^{11}$  protones (\*), en condiciones normales en el tubo cabrían  $10^{26}$ . En cada cruce de paquetes sólo se producen 20 choques, como hay 11.000 cruces por segundo y 2.800 paquetes resultan 600.000.000 colisiones por segundo, muchísimas para ser analizarlas y registradas. Mediante software se registran y analizan sólo las más interesantes y las que tienen sentido estadístico, con mucho trabajo de análisis.

Aunque haya “pocos” protones, circulan muy rápido: la energía de uno de los circuitos es como la de un tren a 220 km/h, si choca contra algo puede destruirlo, por eso hay construida una vía de escape ultra rápida para que choquen contra un bloque de grafito y cobre rodeado de 21 toneladas de hierro como blindaje contra la radiación.

\*)  $10^{11}$  son 100.000.000.000, es decir un 1 y 11 ceros

**BOBINAS ELÉCTRICAS.** Para conseguir que los protones giren en las secciones curvas y sigan la trayectoria geométrica del tubito, es decir del túnel, hay que aplicarles un campo magnético, esto se consigue con una bobina eléctrica, mejor dicho, con una serie de bobinas puestas en cada una de las secciones curvas del tubito, dentro del tubo. Hay 1.232 secciones de unos 14 metros. Para su instalación, las secciones se bajan por los pozos de acceso y luego se conectan unas con otras.

Las bobinas van pegadas al tubito (figura 7) y tienen que suministrar un campo magnético muy elevado, necesitan 11.000 amperios (en una casa el consumo máximo ronda los 15 amperios, = 3300 W / 220 V), para evitar las caídas de voltaje y la necesidad de evacuar el calor desprendido se decidió usar material superconductor, una aleación de titanio y niobio, que a una temperatura de -271°C (1,9 Kelvin) no ofrece resistencia al paso de la corriente y no se calienta; sólo es preciso llevarlo a esa temperatura, y se hace mediante helio líquido, el sistema tiene unos 5.000 kg, casi la producción mundial de un año, y no es barato. Hay un sistema de seguridad para recoger el helio en caso de avería.

Las bobinas son de 14,3 metros por solo 5,6 cm, y deben estar formadas por 160 cables de 18 x 2 mm, pero por necesidades tecnológicas están formadas por 36 hilos de 0,825 mm de diámetro cada una, formados a su vez por 6500 filamentos.

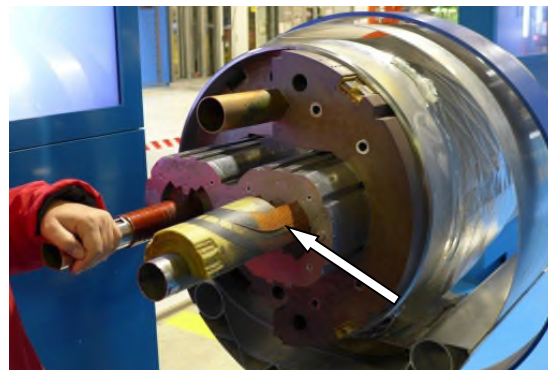


Figura 7. Las bobinas magnéticas que mantienen los protones girando

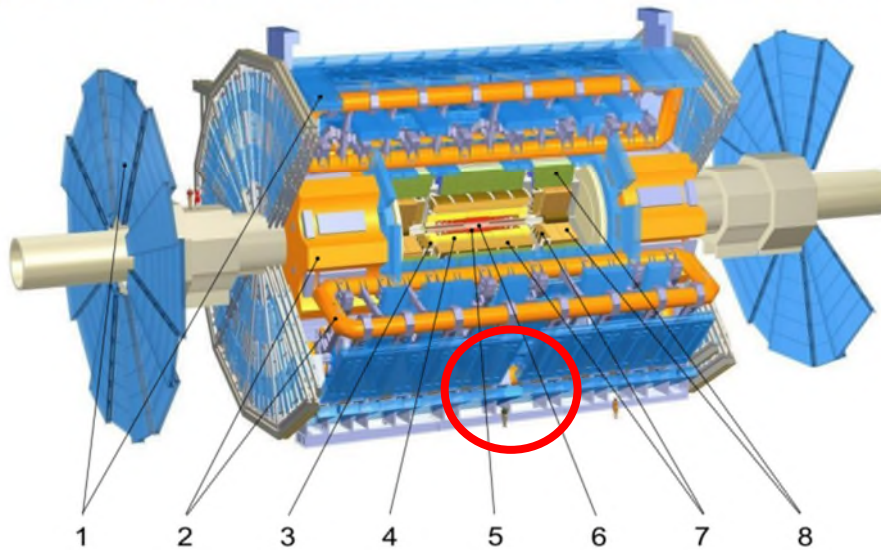
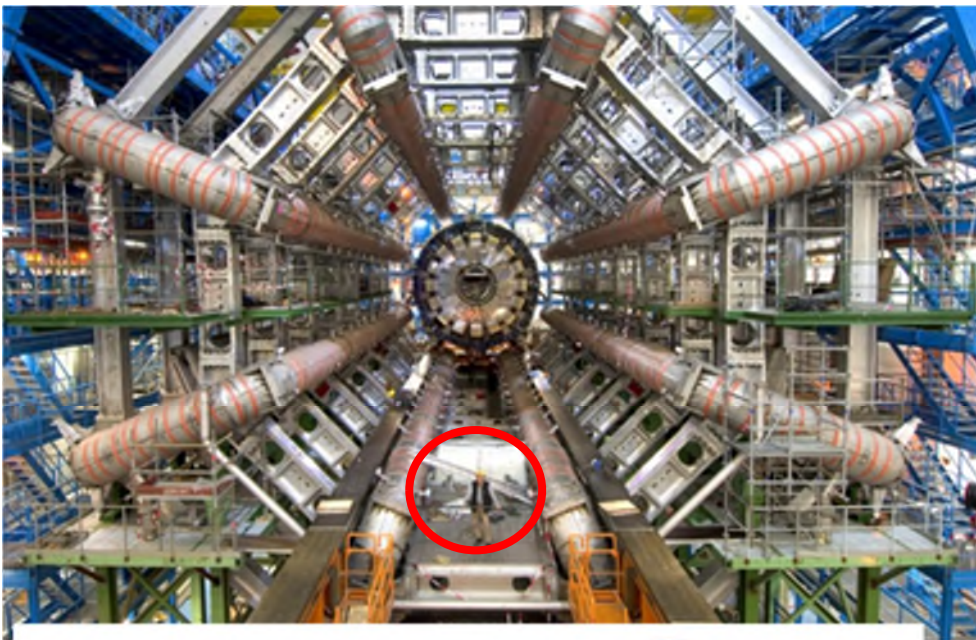
Aparte de hacer girar a los protones hay que contrarrestar la fuerza de la gravedad, la fuerza de repulsión entre protones, los movimientos tectónicos (seísmos minúsculos de la cadena del Jura), las mareas terrestres (unos milímetros como máximo de un lado al otro) y otras varias. Se emplean otros 8.000 electroimanes, colocados entre los sectores. Un pequeño fallo de pérdida de superconductividad puede producir un calentamiento local y desencadenar un desastre, como ocurrió en 2008, cuando una soldadura ligeramente defectuosa dio lugar a la ruina de 50 secciones.

En las secciones rectas se colocan los detectores y los amplificadores, los dispositivos de seguridad, la alimentación, la limpieza, ... Los amplificadores de velocidad son cámaras que varían el campo eléctrico sincronizándolo con el paso de los paquetes, a cada paso lo aceleran un poco.

**LOS DETECTORES.** Hay cuatro principales (figuras 8 a 12) y, como las partículas se detectan según las trazas que dejan, dependiendo de su carga, dirección, energía, masa, etc., son diferentes, especializados en diversas áreas.

El mayor se llama ATLAS (figuras 8 y 9), es un cilindro de 44 metros de largo por 25 metros de diámetro que rodea al punto donde se producen las colisiones de los dos haces.

Primero hay una capa de 1,1 metros por 7 m de longitud de detectores de silicio de 0.3 mm de espesor, luego una zona con láminas de plomo bañadas en gas argón líquido a  $-200^{\circ}\text{C}$ , otra zona con cobre, plástico y fotodetectores, otra zona contiene un detector de muones (son como electrones, pero 200 veces más pesados), todo ello junto con 11 campos magnéticos para dirigir las partículas.



Figuras 8 y 9. Detector ATLAS

Otros grandes detectores son CMS, ALICE y LHCb (figuras 10, 11 y 12).

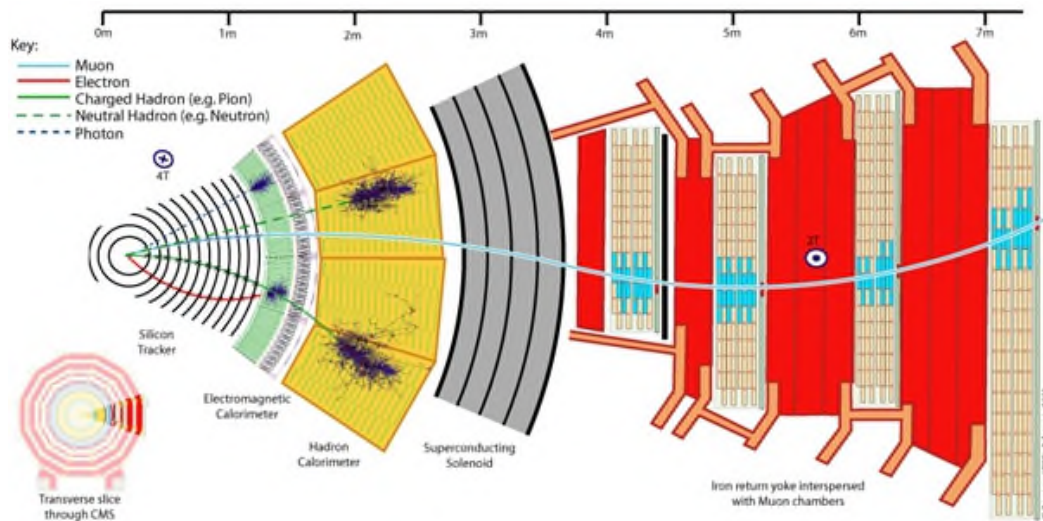


Figura 10. Detector CMS

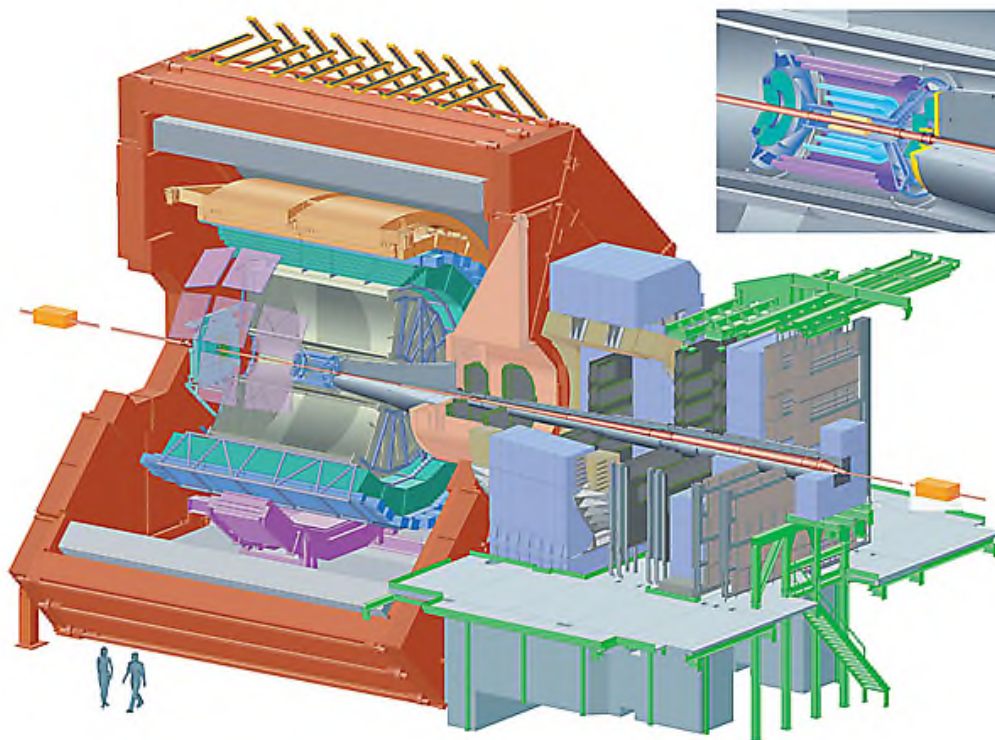


Figura 11. Detector ALICE

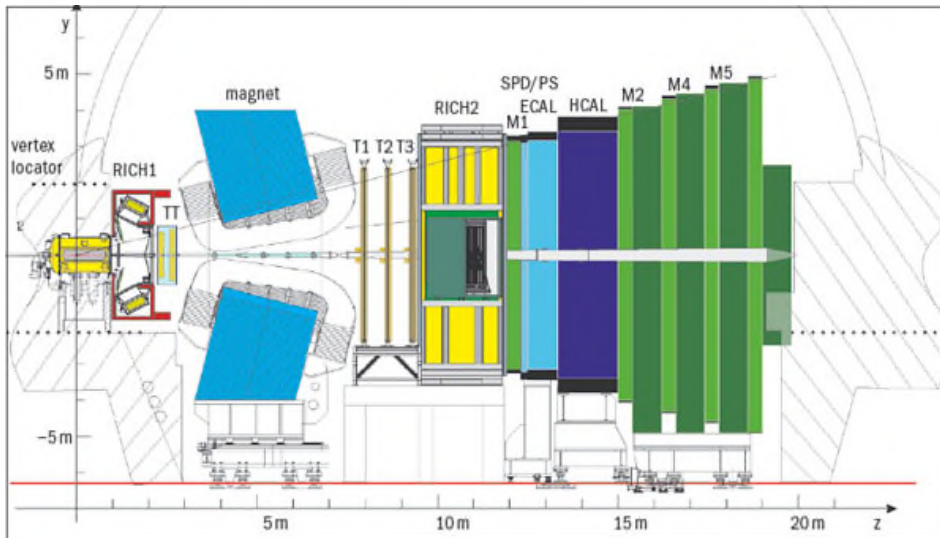


Figura 12. Detector LCHb

**GRAN SASSO.** Los neutrinos son partículas con masa alrededor de una millonésima de la del electrón y sin carga, no interaccionan con casi nada.

Un experimento actual consiste en enviar neutrinos a la instalación del Gran Sasso (figura 13, esquema de

la salida de los neutrinos y figuras 14 a 16, instalación italiana) situada a 50 km de Roma, en el interior de una caverna, dentro de la montaña que ofrece blindaje frente a los neutrinos solares. Se envían miles de millones de neutrinos y se detectan sólo 4 al día. Instalaciones parecidas hay en USA y Japón.

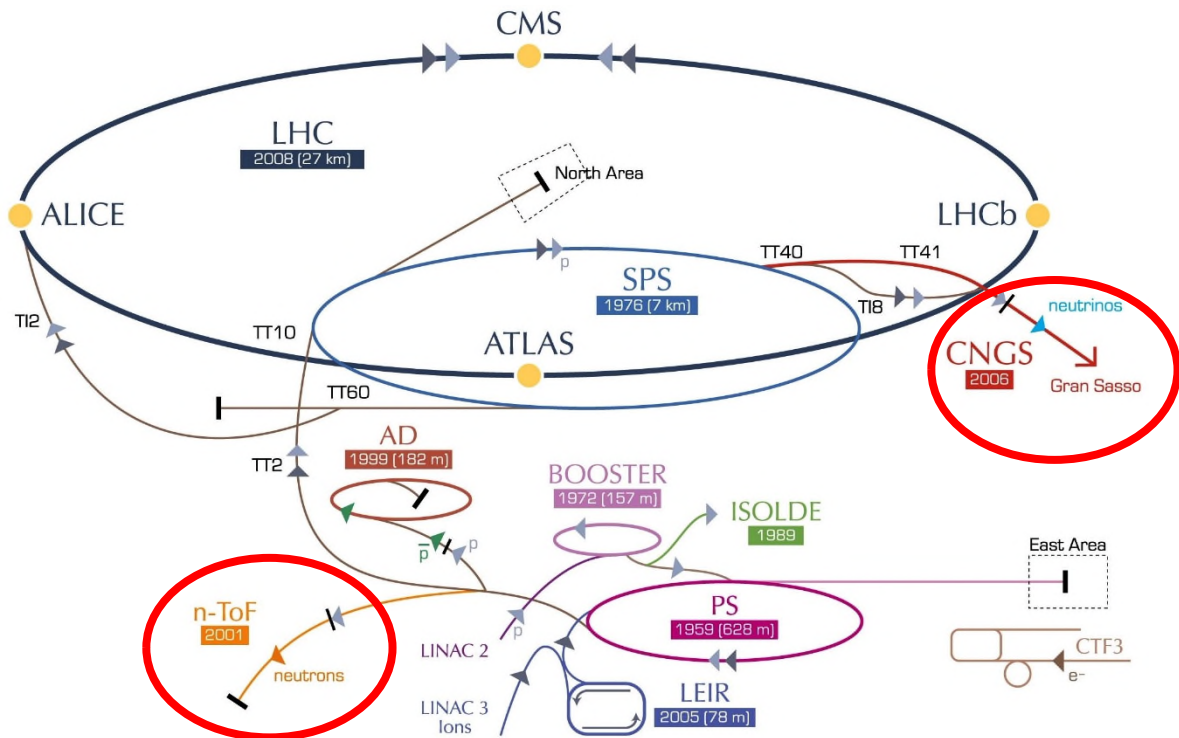
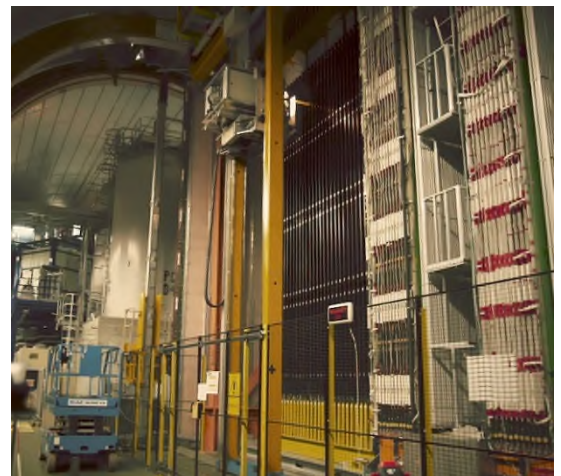
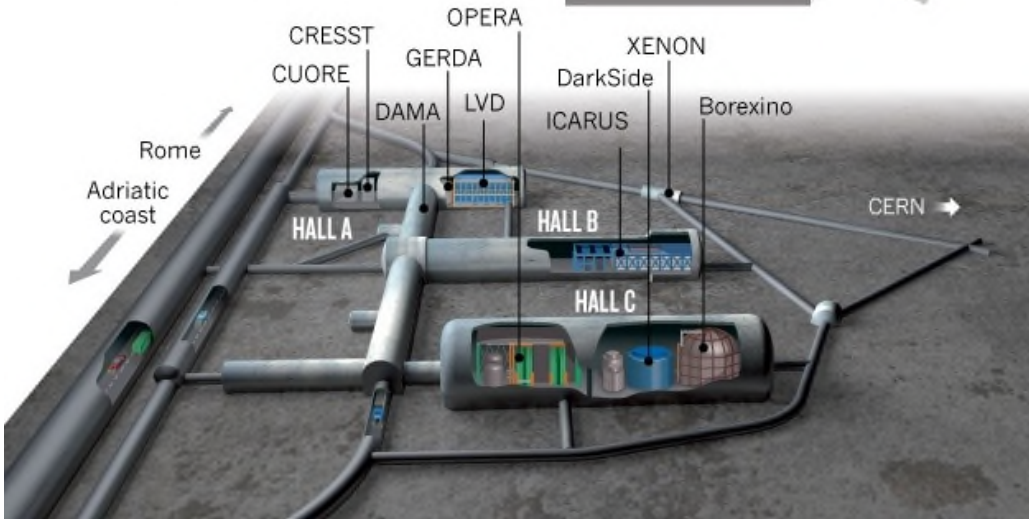
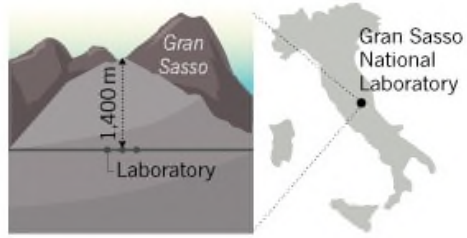


Figura 13. Detalle de instalaciones del CERN

## THE A, B AND C OF GRAN SASSO

Experiments at the Gran Sasso National Laboratory are housed in and around three huge halls carved deep inside the mountain, where they are shielded from cosmic rays by 1,400 metres of rock.



Figuras 14 a 16. Experimentos con el Gran Sasso



**N-TOF.** En la instalación “neutrón time-of-flight facility”, n-TOF, se trabaja haciendo chocar contra un bloque de plomo un chorro de protones procedente del acelerador, generando neutrones de alta energía (ver ubicación en figura 13).

Se hacen varios experimentos y se ensayan materiales, con detectores a unos 200 metros de distancia, lo que permite separar las energías de los neutrones.

Con el tiempo se ha modificado la instalación añadiendo un blindaje de hierro de 100 cm para evitar que los muones interfieran con las medidas.

**El bosón de Higgs.** Retornando al tema de las partículas, los físicos tienen un modelo llamado estándar para explicar las partículas que forman la naturaleza y las fuerzas que actúan sobre ellas.

Sólo existen cuatro fuerzas básicas y su acción se manifiesta con el intercambio de partículas portadoras de fuerza, los bosones.

La fuerza fuerte, que mantiene los quarks formando protones y neutrones dentro del núcleo, evitando su repulsión por la carga positiva, tiene como portador al bosón *gluon*.

La fuerza débil, que explica la conversión de un neutrón en un protón, un neutrino y un electrón, que se expulsa del núcleo: la desintegración beta, tiene a los bosones *Z* y *W*.

La fuerza electromagnética, que entiende de la repulsión de cargas eléctricas del mismo signo y de los campos magnéticos, tiene al bosón *fotón*.

Por último, aunque es de largo alcance, la fuerza de la gravedad, su

partícula de interacción, el bosón *gravitón*, no lo ha visto nadie todavía.

Pues bien, el modelo funciona bastante bien, si bien una extensión del mismo, por consideraciones matemáticas, es que la masa debe tener una “partícula-masa”, el bosón de Higgs, que intercambiándose “confiere” masa a las partículas elementales.

Se postuló en 1967 y se ha estado buscando en diferentes aceleradores.

Finalmente se detectó su rastro en 2012 en el CERN (figura 17). El modelo estaba salvado.

La masa de esta partícula ha resultado ser 134 veces la del protón y su vida media  $10^{-22}$  s, es decir 0,000000 000000 000000 0001 segundos.

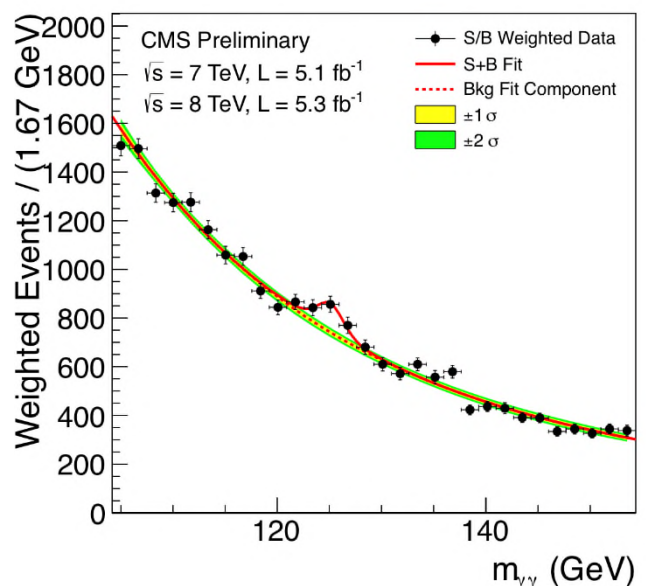


Figura 17. Detección del Bosón de Higgs a 127 GeV