

# SOBRE EL BOSÓN DE HIGGS

por Nicolás Dietl Sagiés  
Profesor-tutor de Mecánica Cuántica (U.N.E.D.)

Noviembre de 2012

## ABSTRACT

The **Higgs boson** or **Higgs particle** is an elementary particle in the Standard Model of particle physics. The Higgs boson is predicted to exist for theoretical reasons, because it can explain why the other particles have mass, and may have been detected by experiments at the Large Hadron Collider (LHC, CERN), but this fact has to be confirmed.

**El bosón de Higgs** es una partícula predicha teóricamente por el físico británico Peter W. Higgs en 1964 para completar el modelo estándar de la física de partículas, sugerido por Murray Gell-Mann, Sheldon L. Glasgow y George Zweig tres años antes, para ordenar las partículas que se conocían hasta ese momento.

El **modelo estándar** es un modelo matemático que explica en su mayor parte, a partir de una combinación de teoría (la teoría electrodébil y la cromodinámica cuántica o CDQ) y experimentos, la física de partículas observada hasta ahora por los físicos. Según este modelo, las partículas elementales se pueden clasificar en dos grandes grupos: *bosones* (partículas que suelen transmitir fuerzas, como las cuatro interacciones de la Naturaleza, gravitatoria –si bien esta última no está contemplada en el modelo –, electromagnética, nuclear débil y nuclear fuerte) y *fermiones*, constituyentes últimos de la materia<sup>1</sup>. Entre los fermiones encontramos diversos tipos de *quarks* (los nucleones, es decir, los protones y los neutrones, están formados por 3 quarks, que no se detectan

---

<sup>1</sup> Las partículas son indistinguibles entre sí, es decir, un protón, por ejemplo, es exactamente igual a otro. Son iguales y no se les puede poner marcas que permita distinguirlas (como a dos bolas de billar), por razón del principio de indeterminación de Heisenberg, que no permite conocer con total precisión la posición y el momento de una partícula de manera *simultánea*. Los resultados medibles en un sistema de partículas no pueden variar por tanto ante un intercambio de dos de ellas, que son indistinguibles.

Los *bosones* son partículas cuyo espín es un número entero (0, 1, 2, ...) y que pueden ser descritas por una función de onda mecano-cuántica completamente simétrica. Obedecen a la estadística de Bose-Einstein.

Los *fermiones* son partículas cuyo espín es un número semientero (1/2, 3/2, ...) y que pueden ser descritas por una función de onda completamente antisimétrica. Obedecen a la estadística de Fermi-Dirac. Su función de onda se anula si dos partículas se encuentran en el mismo estado cuántico, es decir, con los cuatro números cuánticos iguales. Los fermiones obedecen el llamado principio de exclusión de Pauli.

Por razón de su simetría, un bosón tiene una probabilidad mayor de que se agregue otro bosón en el mismo estado cuántico que una partícula clásica, y un fermión tiene una probabilidad nula de que eso ocurra.

nunca aislados) y de leptones, como el electrón y el neutrino, del que a su vez hay 3 tipos.

El modelo estándar explica las interacciones como el resultado de partículas materiales que intercambian partículas bosónicas (mediadoras de fuerzas, entre ellas fotones y gluones). La partícula de Higgs era la única partícula fundamental de entre las que predice el modelo estándar que no se había observado hasta ahora. Desempeña un papel importante en explicar por qué las demás partículas tienen masa, un hecho que el modelo estándar, por razón de unas simetrías matemáticas que la naturaleza parece respetar, no puede explicar.

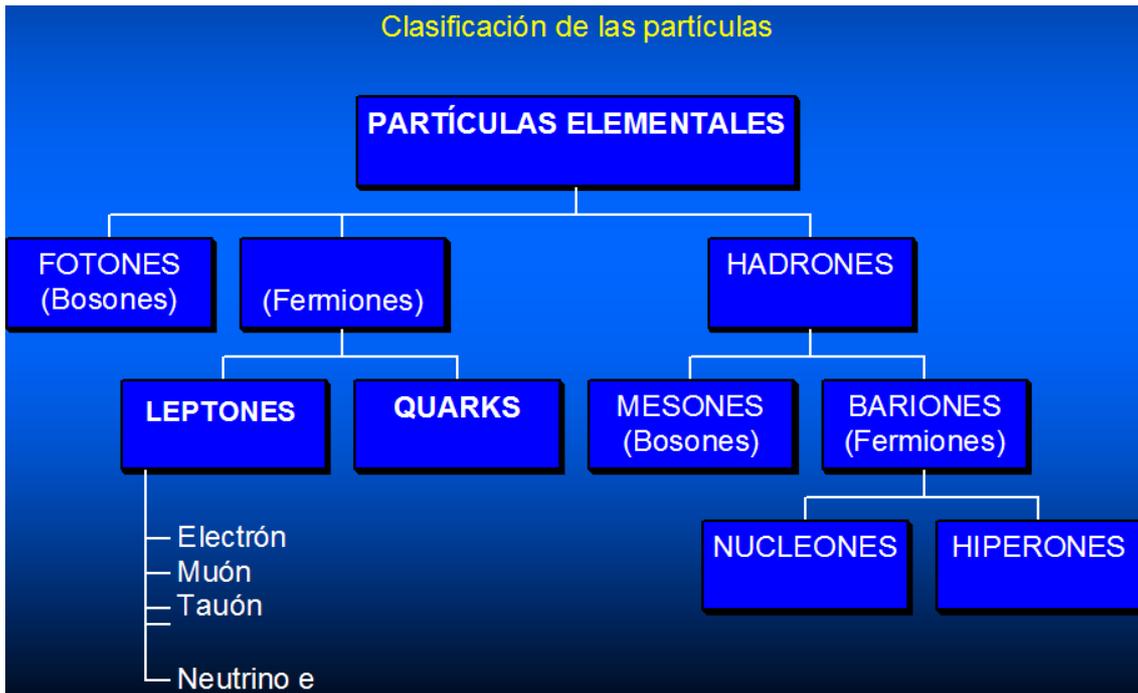
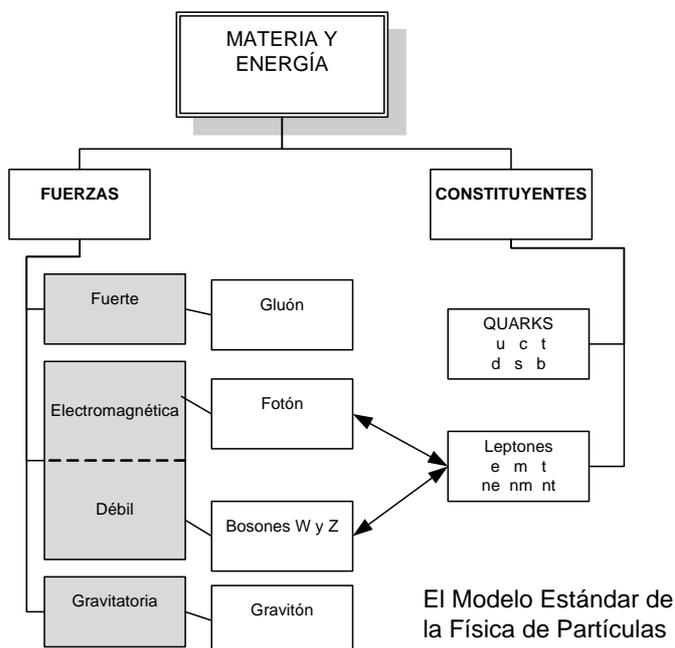


Fig. 1. Clasificación de partículas (material de clase, Nicolás Dietl)

Para entender el modo en que el bosón de Higgs genera las masas de las demás partículas, es necesario tener claro el concepto de campo. Un campo es sencillamente una magnitud física bien definida en cada punto de una región del espacio y del tiempo, como por ejemplo, el campo gravitatorio o el campo eléctrico. Los campos, en general, ejercen su acción mediante el intercambio de una partícula transmisora. En el caso del campo electromagnético, dicha partícula es el fotón; en el



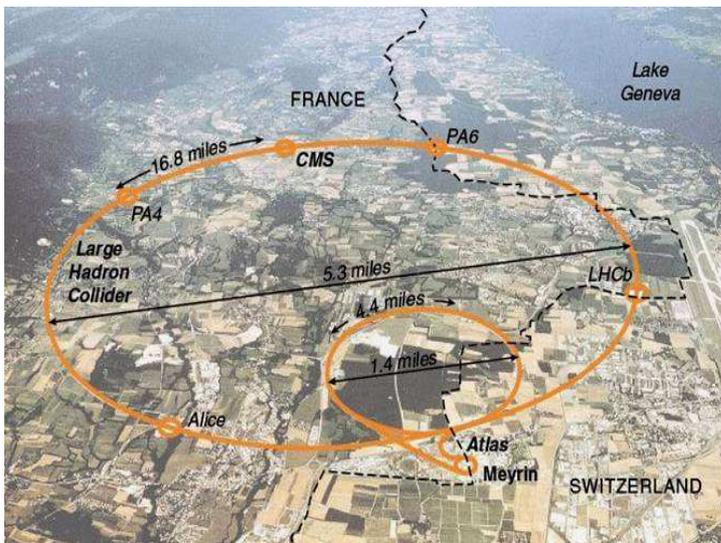
Para entender el modo en que el bosón de Higgs genera las masas de las demás partículas, es necesario tener claro el concepto de campo. Un campo es sencillamente una magnitud física bien definida en cada punto de una región del espacio y del tiempo, como por ejemplo, el campo gravitatorio o el campo eléctrico. Los campos, en general, ejercen su acción mediante el intercambio de una partícula transmisora. En el caso del campo electromagnético, dicha partícula es el fotón; en el

Fig. 2. El Modelo Estándar (tomado de Física, de Serway)

campo gravitatorio, el gravitón, no detectado aún. Y en la interacción nuclear débil o campo débil, tres bosones vectoriales débiles, las llamadas partículas  $W^+$ ,  $W^-$  y  $Z^0$ , mientras que en la interacción nuclear fuerte o campo fuerte, las partículas transmisoras son ocho gluones (de *glue*, pegamento en inglés). Pues bien, de manera análoga, el bosón de Higgs, partícula dotada de masa, es la partícula transmisora propuesta del campo o mecanismo de Higgs.

En los años sesenta, Sheldon Glashow, Steven Weinberg y Abdus Salam incorporaron al modelo estándar lo que hoy conocemos como el *mecanismo de Higgs*, propuesto unos años antes por Robert Brout, François Englert y Peter Higgs. La idea principal es fácil de entender. Una forma de conciliar la masa observada de las partículas con la simetría que hace falta es postular que esa simetría existe, pero que no es aparente. La simetría se recupera siempre a altísimas energías, en las que las interacciones parecen unificarse, pero a energías más bajas, no. Este mecanismo se puede incluir en el modelo estándar proponiendo la existencia de un campo infinito que llene todo el espacio y que tome un valor distinto de cero en el vacío. Este campo es el *campo de Higgs*. Las excitaciones fundamentales de ese campo se corresponderían con lo que denominamos *partícula de Higgs*, al igual que los fotones son las excitaciones fundamentales del campo electromagnético. Esa partícula se convirtió en la partícula más buscada de la física teórica durante los últimos decenios.

Esto suponía un gran cambio conceptual. Se requería la presencia de un campo físico que llenara todo el espacio, de modo semejante al “éter” que se propuso a finales del siglo XIX para explicar la propagación de la luz y que fue desechado por los experimentos de Michelson-Morley y la teoría de la relatividad especial de Einstein. El campo de Higgs es un campo escalar –a diferencia del campo eléctrico o un campo de fuerzas, que son vectoriales –, lo cual exige que su partícula mediadora tenga espín 0, y sea, por lo tanto, un bosón.



**Fig. 3.** Plano de las instalaciones del CERN

El campo de Higgs permite explicar que las demás partículas tengan masa, si imaginamos aquél como un fluido viscoso, como la miel, con el que las demás partículas interactúan en una fricción que se opone a su movimiento. Cuanto más interactúa una partícula con él, mayor es la masa que adquiere. El fotón no interactúa con el campo de Higgs, lo atraviesa sin más, y por ello no tiene masa. Las partículas de Higgs equivalen en esta analogía a las «olas»

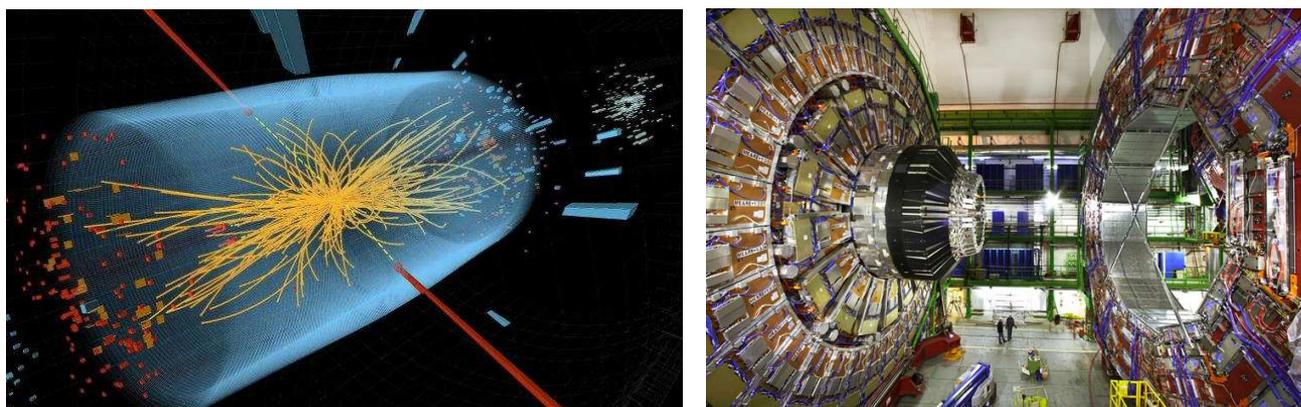
que aparecen cuando se agita un líquido. Pero son partículas de una vida muy corta<sup>2</sup>, que enseguida se desintegran, por lo que debemos intentar detectarlas a partir de reconocer los posibles productos de su desintegración.

Para producir esas «olas» es necesario alcanzar energías muy altas, haciendo chocar haces de protones a altísima energía, y estudiando las partículas resultantes de esas colisiones. Eso se puede hacer en los aceleradores de partículas. El CERN es el Consejo Europeo de Investigaciones Nucleares, y tiene sus laboratorios en Ginebra, cerca de la frontera entre Suiza y Francia. En un túnel de 27 km de longitud, a varias decenas de metros bajo tierra, se ensayó durante años con el LEP, el Gran-Colisionador Electrón Positrón. Utilizando las mismas instalaciones del túnel, pero construyendo nuevos aceleradores y detectores más potentes, a partir de 2008 se puso en funcionamiento el Gran Colisionador de Hadrones (LHC), donde se instalaron los detectores ATLAS y CMS. Estas colaboraciones han detectado la existencia de un Higgs cuya masa rondaría los 125 GeV<sup>3</sup> (unas 134 veces la masa del protón). El modelo estándar, en sí mismo, no predecía un valor concreto para la masa de la partícula de Higgs. Sí que nos dice, para cada valor de la masa que la partícula tenga, cuál es la probabilidad de que el Higgs se desintegre de una manera u otra. Las señales más claras que se han encontrado arrojan que la desintegración del bosón de Higgs tiene lugar en 2 fotones, o en 4 leptones (2 pares electrón-positrón o muón-antimuón). El detector Atlas observó un exceso de sucesos con dos fotones cuya energía indicaría una masa para el bosón de Higgs de unos 126 GeV, pero también detectó un exceso de sucesos con cuatro leptones, lo cual confirmaba una dirección de búsqueda.

De confirmarse los experimentos cuyos resultados se publicaron este año a principios de julio, nos encontraríamos ante un descubrimiento histórico.

En las figura 4, se muestra un evento del CMS en el que se genera un par electrón-positrón (líneas verdes) y un par muón-antimuón (líneas rojas), una de las formas en las que se espera que el bosón de Higgs se desintegre.

En la figura 5 aparece una imagen del detector CMS durante su construcción.



<sup>2</sup> El tiempo de vida medio de un bosón de Higgs, predicho por el modelo estándar, es del orden de 1 zeptosegundo, es decir,  $10^{-21}$  segundos. Para hacernos una idea de ese orden de magnitud, en un segundo hay mil millones de billones de zeptosegundos (el Universo tiene una edad estimada de  $4.3 \times 10^{17}$  segundos)

<sup>3</sup> A partir de la célebre expresión de Einstein,  $E = mc^2$ , es frecuente dar la masa de las partículas en unidades de energía, teniendo en cuenta que siempre habría que dividir por  $c^2$ . Así, la masa del protón, por ejemplo, es  $938.272 \text{ MeV}/c^2$

## Comentarios

- *El bosón de Higgs ha sido llamado la “partícula de Dios” por culpa de un popular libro de ciencia divulgativa escrito por el Premio Nobel Leon M. Ledermann y por el escritor Dick Teresi, que fue publicado en 1993. De hecho, es una mala traducción, porque el autor se refería a la “partícula Dios”. En realidad, parece ser que la intención de los autores era titular al libro “La partícula maldita”, pero los editores consideraron que ése no era un título muy comercial, y lo cambiaron en el último momento por “The God Particle”.*
- *“Identificar a Dios con una partícula subatómica es una salvajada filosófica que nos llevaría al más radical panteísmo”, afirmó el Padre D. Javier Igea, sacerdote y doctor en Astrofísica por la Universidad de Nueva York.*
- *En un artículo suyo sentencia:*

*“Las implicaciones religiosas de este descubrimiento no son tales. (...) Ahora bien, la trascendencia mediática y científica que ha tenido este descubrimiento sirve para plantear una vez más las preguntas fundamentales que el hombre se hace sobre sí mismo y sobre lo que le rodea. Detrás de cada científico hay un hombre que busca saber, y en las preguntas que hace a la naturaleza hay una pregunta implícita sobre sí mismo y sobre Dios. La negación de Dios a partir de la ciencia solo se podría dar en el caso imposible de que la ciencia estuviese acabada y diese una explicación última de todo. Pero, después de Gödel, hay una pregunta que la ciencia no puede responder: ¿quién ha creado las leyes de la naturaleza que la ciencia descubre? La ciencia no puede explicarse a sí misma.”*
- *Un artículo de Carlos A. Marmelada, publicado en julio de 2012, decía: “En palabras de Brian Greene, doctor en física por la Universidad de Oxford y profesor de física y matemáticas en la de Columbia, quedaría pendiente de resolver una cuestión: “No hay ninguna explicación fundamental para la manera exacta en que cada una de las partículas conocidas interacciona con el campo de Higgs. En consecuencia, no hay ninguna explicación fundamental de por qué las partículas conocidas tienen las masas concretas que se han mostrado experimentalmente” (B. Greene, El tejido del cosmos; Crítica, Madrid, 2006, p. 338).” Pero, añade, refiriéndose al absurdo nombre de “partícula de Dios”: “Pero no hay que tomar la metáfora al pie de la letra: la partícula que es condición para que haya un universo con cuerpos, en vez de un puro plasma de radiación, no “crea de la nada”.*
- *Si aceptamos que Dios es el Creador de todo el Universo, lo es de todas las partículas, luego este apelativo referido a una de ellas es absurdo, puesto que no crea a las demás, ni explica por qué existe ella misma, si bien la Física no da respuesta a esta cuestión última de la Creación; cae fuera de su ámbito..*

## BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

- Achenbach, Joel: “**En el corazón de la materia**”. National Geographic España, marzo de 2008
- Bosman, Martine; Rodrigo, Teresa: “**La búsqueda del bosón de Higgs**”. INVESTIGACIÓN Y CIENCIA nº 432, septiembre de 2012
- Casas, Alberto<sup>4</sup>: “**¿Está la partícula de Higgs asomando la cabeza?**”. INVESTIGACIÓN Y CIENCIA nº 425, febrero de 2012
- Casas, Alberto: “**El descubrimiento del bosón de Higgs**”. INVESTIGACIÓN Y CIENCIA nº 431, agosto de 2012
- García Barreno, Pedro (director): “**La Ciencia en tus manos**”. Editorial Espasa. Madrid, 2000
- Kane, Gordon: “**Los misterios de la masa**”. INVESTIGACIÓN Y CIENCIA nº 348, septiembre de 2005
- Mayer-Kuckuk: “**Kernphysik**”. Teubner. Stuttgart, 1984
- Pajares, Carlos: “**La nueva Física**”. Editorial Salvat, Barcelona, 1973
- Pickover, Clifford A.: “**El libro de la Física**”. Editorial Librero. Madrid, 2012
- Serway, Raymond A.: “**Física**”. Tomo II. Editorial McGraw-Hill. México, 1997
- Solís, Carlos; Sellés, Manuel: “**Historia de la Ciencia**”. Editorial Espasa. Madrid, 2005
- Tipler, Paul A.; Mosca, Gene: “**Física para la Ciencia y la Tecnología. Física Moderna**”. 6ª ed., Editorial Reverté. Barcelona, 2010
- Veltmann, Martinus J.G.: “**El bosón de Higgs**”. INVESTIGACIÓN Y CIENCIA nº 124, enero de 1987
- Weinberg, Steven: “**Partículas subatómicas**”. *Prensa Científica*, Editorial Labor. Barcelona, 1985
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Bosón\\_de\\_Higgs](http://es.wikipedia.org/wiki/Bosón_de_Higgs)
- <http://www.tradicioncatolica.net/el-boson-de-higgs-la-mal-llamada-particula-de-dios>
- <http://www.aceprensa.com/articulos/el-boson-de-higgs-no-es-la-particula-de-dios/>

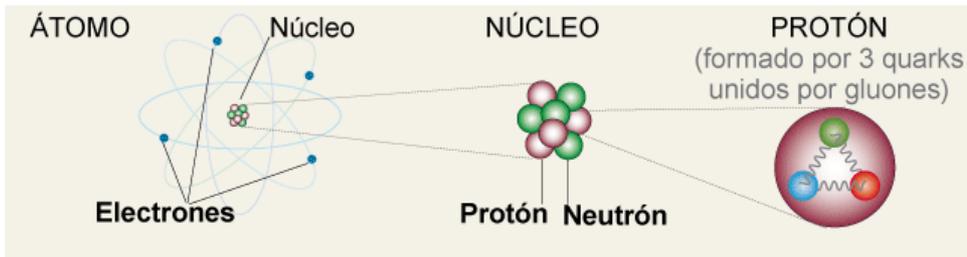
---

<sup>4</sup> El Profesor Dr. D. Alberto Casas es el actual director del Instituto de Física Teórica, Universidad Autónoma de Madrid / C.S.I.C. Hijo del célebre profesor de Física de Zaragoza D. Justiniano Casas, autor del famoso libro de “Óptica”, el Dr. Casas fue profesor mío en la Universidad Autónoma en los años ochenta.

## EL 'MODELO ESTÁNDAR'

Conjunto de teorías que integran todos los conocimientos actuales sobre partículas y fuerzas fundamentales

La **materia** está formada por tres partículas más pequeñas que los átomos



En la naturaleza hay en total **12 partículas** que se pueden observar, por ejemplo, en el espacio

Entre las partículas actúan diferentes **fuerzas**. Por ejemplo, la gravedad, que las agrupa. Estas fuerzas son **trasladadas por otras partículas**

Fermiones

Quarks

u up	c charm	t top
d down	s strange	b bottom

Leptones

$\nu_e$ neutrino electrón	$\nu_\mu$ neutrino muón	$\nu_\tau$ neutrino tau
e electrón	$\mu$ muón	$\tau$ tau

Portadores de fuerza (bosones)

$\gamma$ fotón
Z bosón z
W bosón w
g gluón

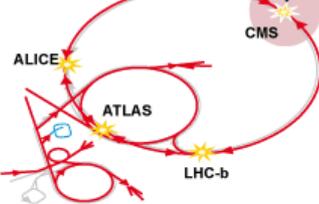
Todo esto **no explica por qué la materia tiene masa**. En teoría, debe existir una partícula que da masa a todas las otras: el bosón de Higgs

**BOSÓN DE HIGGS**

## EL CERN

— Trayecto de protones

☀ 4 Puntos de colisión



## EL DETECTOR SOLENOIDE DE MUONES COMPACTO (CMS, sigla en inglés)

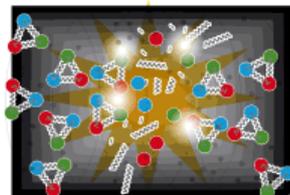
Entrada del haz

Cuando las partículas chocan, el detector las atrapa en sus diversas capas.

Choque de partículas

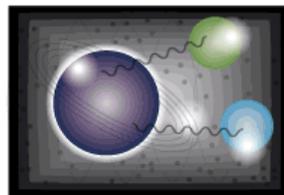
Entrada del haz

## EL EXPERIMENTO



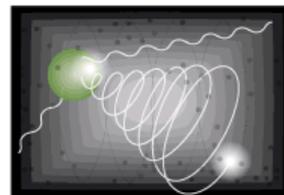
1

Los protones son acelerados al 99,9999991% de la velocidad de la luz. Los quarks y gluones chocan dentro de los protones con suficiente energía para crear la partícula de Higgs



2

La partícula de Higgs tiene de **100 a 200 veces la masa de un protón** y es de **muy corta duración** (menos de una billonésima parte de un segundo) antes de desintegrarse en otras partículas.



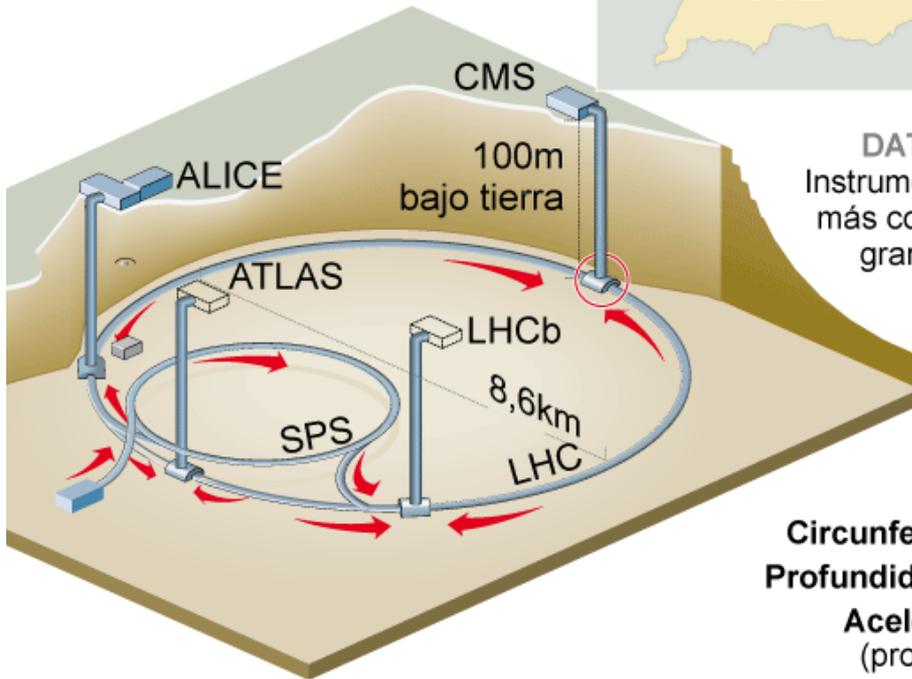
3

La evidencia de las partículas de Higgs se encontrará en **rastros de espirales** y líneas dejados en los detectores del LHC por las partículas creadas cuando se desintegran.

## GRAN COLISIONADOR DE HADRONES (LHC, sigla en inglés)

Túnel subterráneo circular de 27 km de circunferencia, en el que **los protones chocan al acelerarlos**

Las colisiones se producen en cuatro puntos, llamados Alice, Atlas, LHCb y CMS. Cada uno analiza a su manera los choques y busca rastros de partículas, como la de Higgs



**DATOS DEL LHC**  
Instrumento científico más complejo y más grande del mundo

**Circunferencia:** 27 km  
**Profundidad:** 50 - 175m  
**Acelera:** Hadrones (protones o iones)