

El bosón de Higgs, Stephen Hawking y el paraíso de Sheldon

– Voz: Cierra los ojos e imagina que estás en un lugar lleno de paz.

– Sheldon: Estoy dentro del CERN.

(Temporada 7, episodio 13)

No es habitual que Sheldon Cooper pida un favor. Por lo general, no necesita de los demás nada que no pueda procurarse él mismo. Sin embargo, ha habido dos situaciones, relacionadas con el tema que trataremos en este capítulo, en las que el personaje ha dejado de lado su desdén habitual. Las dos están relacionadas con dos de sus mayores deseos como científico. El primero es poder visitar el gran colisionador de hadrones del CERN (Organización Europea para la Investigación Nuclear), situado cerca de Ginebra, en la frontera franco-suiza. El asunto es tan importante para él que una de las cláusulas de su contrato de compañeros de piso establece que si uno de los miembros del piso logra visitarlo hará lo posible para incluir al otro en el viaje. Por eso, cuando Leonard es invitado a visitarlo, Sheldon da por

hecho que él va a ser su acompañante¹. Sin embargo, Leonard tiene previsto invitar a su novia Penny y hacer del viaje algo romántico. La decisión es ilógica para Sheldon, pues no solo implica una vulneración de su contrato, sino que además no entiende cómo puede elegir a Penny, que no tiene ningún interés por el gran colisionador de hadrones, mientras que para él es un sueño que podría hacer realidad. Sheldon declara traidor a Leonard, comparándolo con Darth Vader, entre otros, para posteriormente intentar que cambie de opinión por todos los medios. Leonard se mantiene firme. En el último momento, Penny enferma de gripe y parece que será la oportunidad de Sheldon, pero ella lo ha contagiado, de manera que al final es Raj quien acompaña a Leonard.

Quizá se estarán preguntando por qué es tan importante para Sheldon visitar el gran colisionador de hadrones. La serie hace bien en considerar esta posibilidad un hito personal y profesional para el personaje, pues se trata de la mayor y más costosa máquina jamás construida, en la que trabajan miles de científicos de todo el mundo y en la que se han invertido miles de millones de euros. A continuación explicaremos por qué es importante y qué relación tiene con el bosón de Higgs.

La mal llamada «partícula de Dios»

El mundo que conocemos se asemeja a aquellos juegos infantiles que, mediante bloques de plástico interconectables de unos pocos tipos, permiten crear múltiples y variadas construcciones. Del mismo modo, la realidad que nos rodea, aunque se nos muestra en una casi infinita variedad de formas, se reduce (hasta donde sabemos) a la combinación de 61 tipos de partículas elementales, una de las cuales es el bosón de Higgs. Sin embargo, mientras que muchas de ellas, como el tauón o el neutrino muónico, son generalmente desconocidas fuera de los ámbitos especializados, el bosón de Higgs ha

¹Temporada 3, episodio 15.

alcanzado una repercusión mediática muy superior, e incluso algunos titulares periodísticos lo presentan como la «partícula de Dios». ¿Qué lo hace tan especial?

Un nuevo bosón

El modelo estándar no es tan solo una clasificación de las partículas conocidas, sino principalmente un conjunto de tres teorías cuánticas que explican la interacción de fermiones y bosones:

1) la electrodinámica explica la fuerza electromagnética, 2) la cromodinámica explica la fuerza nuclear fuerte, y 3) la electrodébil explica la fuerza nuclear débil.

La eficacia de tales teorías fallaba en un aspecto importante: la simetría del modelo requería que los bosones gauge tuvieran masa cero, lo cual es cierto en el caso de los fotones y los gluones, pero no en los bosones Z^0 , W^+ y W^- (los causantes de la interacción débil). Era necesario encontrar algo que explicara tal creación de masa.

La solución a este problema la halló en 1960 el estadounidense Yoichiro Nambu. Basándose en estudios sobre el fenómeno de la superconductividad, formuló una

teoría matemática que explica el mecanismo de la rotura espontánea de la simetría en la física subatómica. La publicación del trabajo de Nambu inspiró a muchos físicos, y en 1964, de modo casi simultáneo, tres equipos distintos propusieron un mecanismo que explica el origen de la masa de las partículas subatómicas. Fueron, por orden cronológico: 1) los belgas François Englert y Robert Brout, 2) el británico Peter Higgs y 3) los estadounidenses Gerald Guralnik y Carl R. Hagen, y el británico Tom Kibble. Por ello parecería más adecuado denominarlo Englert-Brout-Higgs-Guralnik-Hagen-Kibble, pero usualmente se le conoce como el mecanismo de Higgs. En realidad, tendría que haberse llamado de Englert-Brout, ya que el artículo en que proponían su idea² se presentó y publicó antes que los de Higgs³. Sin embargo, un error del físico teórico Steven Weinberg, que en algunas de sus publicaciones confundió las fechas de los artículos, anteponiendo el de Higgs al de Englert y Brout, se fue propagando posteriormente en el mundo de la física. No fue hasta 2011 que Frank Close explicó el error⁴ y el propio Weinberg lo reconoció el año siguiente, pero se

sigue conociendo como el mecanismo de Higgs.

El mecanismo de Higgs

Para comprender de qué modo el mecanismo de Higgs proporciona masa a las partículas debemos empezar concretando dos conceptos físicos: la masa y el campo. A veces se define la masa como la cantidad de materia, pero tal definición puede resultar confusa. Según esta, podría parecer que 250 cm³ de poliestireno expandido contienen una masa mayor que 1 cm³ de plomo, cuando es a la inversa. Tampoco hay que confundir la masa con el peso (un objeto tiene la misma masa en la Tierra o en la Luna, pero su peso en uno y otro lugar es distinto). Una definición más ajustada a la realidad es que la masa es la resistencia (inercia) que ofrece un cuerpo a cambiar su estado de reposo o movimiento. Según esto, la fuerza que debemos aplicar a un objeto para cambiar su velocidad en cierto tiempo (por ejemplo, para pasarlo de 10 a 20 km/h en 10 segundos) es proporcional a su masa, lo que se traduce en la fórmula $F = ma$ (fuerza igual a masa por aceleración). Por su parte, un campo (en física) es

²*Broken symmetry and the mass of gauge vector mesons*, publicado el 26 de junio de 1964.

³*Broken symmetries, massless particles and gauge fields*, publicado el 15 de septiembre, y *Broken symmetries and the masses of gauge bosons*, publicado el 19 de octubre.

⁴En su libro *The infinity puzzle*.

simplemente algo que tiene un valor en cada punto del espacio (un valor que suele ejercer determinados efectos en tales puntos). Así, por ejemplo, hablamos del campo gravitatorio o del campo magnético.

Aunque tanto la fuerza gravitatoria como la electromagnética tienen un alcance infinito, si nos situáramos en un punto del universo enormemente alejado de cualquier influencia externa, en aquel espacio vacío el valor de ambos campos sería prácticamente nulo. Ello es así porque en el espacio vacío los campos tienden a su nivel mínimo de energía, que en el caso de las cuatro fuerzas elementales corresponde al valor cero (es decir, ausencia de fuerza alguna). Pues bien, el mecanismo de Higgs consiste en la

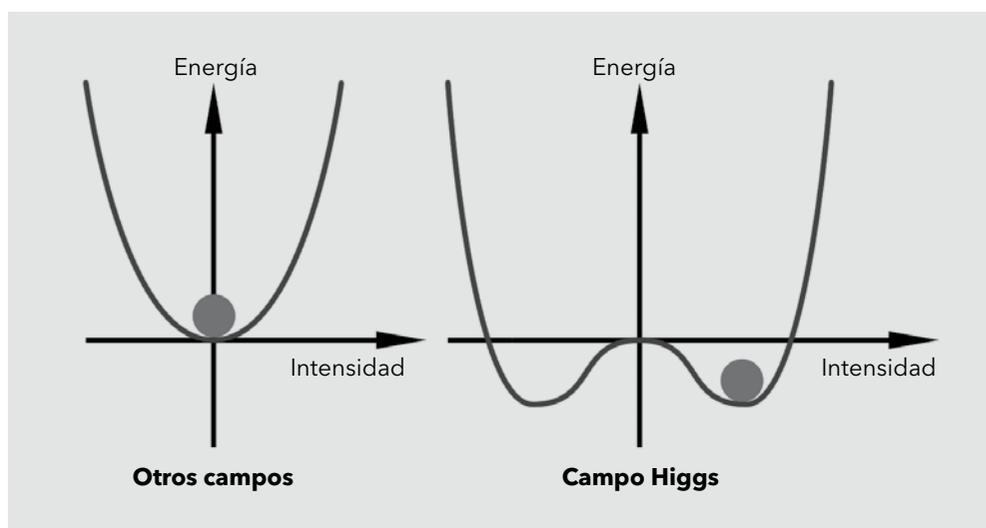
existencia de un campo (el campo Higgs) que, a diferencia de los demás, alcanza su nivel mínimo de energía para un valor distinto de cero. La figura 1 muestra la relación entre la intensidad y la energía en los campos «normales» y en el Higgs. La forma de este último suele ser denominada «el sombrero mejicano». En ambos casos, el círculo indica el estado de mínima energía al que tiende el campo en el espacio vacío (el punto más bajo de la curva).

Esto tiene un efecto importante: como las restantes fuerzas, en el espacio vacío el campo Higgs tiende a su mínimo de energía, pero en él este mínimo corresponde a una intensidad distinta de cero, y por tanto, cualquier partícula, esté donde

esté, se encuentra siempre sometida al valor fijo del campo Higgs, y la interacción de ellos genera una energía que altera la masa de la partícula según la fórmula $E = mc^2$ (ya que la masa se corresponde con la energía que tiene un cuerpo en estado de reposo). Los distintos tipos de partículas interactúan con diferente intensidad con el campo Higgs. De este modo, las que no interactúan con él conservan su masa cero (fotones, gluones), mientras que el resto de las partículas adquieren una masa mayor o menor según la intensidad de la interacción (fuerte en los quarks t , b y c , los tauones y los bosones Z y W , y débil en los electrones, los neutrinos, los muones y los quarks u , d y s).

Sin embargo, conviene aclarar un concepto que a menudo se interpreta de manera incorrecta dando a entender que el campo Higgs es el causante de toda la masa existente, cuando lo cierto es que apenas genera una mínima parte de la que tiene la materia habitual (la que forma todo aquello que tenemos a nuestro alrededor y nosotros mismos). La mayoría de la masa de los átomos se debe a los protones y los neutrones, que la obtienen por la interacción de los quarks con las fuerzas nucleares. La masa obtenida de este modo es muy superior a la que produce el campo Higgs. Aun así, la existencia del campo Higgs y su intensidad

Figura 1. Niveles mínimos de energía en el campo Higgs y en otros campos.



concreta son esenciales para la existencia de la vida tal como la conocemos, ya que incluso pequeñas variaciones de su valor generarían importantes cambios en la estructura de los átomos que alterarían de modo radical su comportamiento físico y químico.

A la búsqueda del bosón

El mecanismo de Higgs parecía una solución plausible al problema de la creación de la masa, pero por el momento se trataba tan solo de una teoría que era necesario comprobar. Del mismo modo que las cuatro interacciones fundamentales están mediadas por partículas de fuerza (los bosones gauge), debería existir otro bosón (el bosón de Higgs) cuyas propiedades correspondieran a las previstas en el mecanismo de Higgs. Desde el mismo momento de la publicación de la teoría en 1964, físicos de todo el mundo iniciaron una carrera para descubrir una partícula que reuniera tales características.

Una investigación de este tipo requiere el uso de grandes y complejas máquinas: los aceleradores de partículas. Se trata de dispositivos que lanzan partículas en sentidos contrarios a gran velocidad para producir choques entre ellas y así poder observar las eventuales nuevas partículas resultantes de la colisión. La realización práctica presenta

importantes retos tecnológicos y económicos, pues las partículas deben alcanzar una velocidad cercana a la de la luz, y para ello tienen que ser aceleradas mediante campos eléctricos y magnéticos en el interior de largos tubos. Además, su trayectoria debe ser controlada con una precisión extrema para asegurar que alcancen su objetivo y se consiga el mayor número posible de choques.

Los mayores aceleradores suelen ser del tipo sincrotrón, en el que los haces de partículas siguen una trayectoria cíclica de modo que a cada vuelta son acelerados progresivamente, aumentando con ello su energía, puesto que cuanto mayor sea esta, más masivas serán las partículas que podrán obtenerse. Las primeras partículas descubiertas fueron las más ligeras, por lo que la búsqueda de nuevas partículas requiere aceleradores cada vez más potentes.

Los físicos de partículas suelen medir la energía en electronvoltios (eV). Un eV es la cantidad de energía necesaria para desplazar un electrón entre dos puntos entre los que exista una diferencia de potencial de un voltio. El eV es, pues, una unidad muy pequeña, por lo que habitualmente se utilizan sus múltiplos: el gigaelectronvoltio ($\text{GeV} = 10^9 \text{ eV}$) o el teraelectronvoltio ($\text{TeV} = 10^{12} \text{ eV}$). Dada la equivalencia entre masa y energía, la masa de las

partículas suele medirse en eV/c^2 (a veces simplificado a eV). Por ejemplo, la masa del bosón de Higgs es de unos $125 \text{ GeV}/c^2$.

Bevatron

El Bevatron fue un acelerador de partículas en Berkeley (California), que estuvo en funcionamiento desde 1954 hasta 1993. No hacía chocar partículas entre ellas, sino que las lanzaba contra un objetivo fijo. Su nombre deriva de *Billions of eV Synchrotron* (sincrotrón de miles de millones de eV). Al cabo de un año de funcionamiento permitió el descubrimiento del antiprotón, realizado por Emilio Segrè y Owen Chamberlain, quienes compartieron el Premio Nobel de Física en 1955. Durante los años siguientes, Luis W. Álvarez incorporó al Bevatron dispositivos que permitieron detectar e identificar las nuevas partículas obtenidas, lo que le valió el Premio Nobel de Física en 1968.

Tevatron

A pesar de los logros alcanzados por el Bevatron, la energía que podía alcanzar distaba mucho de la necesaria para descubrir el Higgs. El primer acelerador que intentó su búsqueda fue el Tevatron del Fermilab (Fermi National Accelerator Laboratory), cerca de Chicago, operativo desde 1983 hasta 2011. El nombre Tevatron se refiere a que es

capaz de alcanzar energías de 1 TeV (*TeV Synchrotron*), cientos de veces más que el Bevatron. Operativo desde 1970 hasta 2011, lanzaba protones y antiprotones al 99.999954% de la velocidad de la luz. El circuito, de casi 7 km de circunferencia, estaba en el interior de un túnel bajo tierra, y los haces de partículas eran guiados por mil imanes superconductores mantenidos a $-230\text{ }^{\circ}\text{C}$. En marzo de 2012, cuando ya no estaba en servicio, científicos del Tevatron presentaron un informe con el análisis de los datos experimentales recogidos en los últimos 10 años que indicaban la posible detección de una partícula compatible con el Higgs (con una significación de $2,2 - \sigma$ ⁵).

El supercolisionador fantasma

A finales de la década de 1970, en los Estados Unidos se empezó a pensar en la construcción de un acelerador que fuera mucho más potente que cualquiera de los existentes: el *Superconducting Super Collider* (SSC). La idea fue tomando forma, y en 1983 empezó la fase de diseño. Según este, debía ocupar un anillo de 87 km de circunferencia al sur de Dallas, y tener una potencia de 20 TeV

por haz, suficiente no solo para producir el Higgs, sino también otras partículas aún desconocidas. En 1987, el presidente Ronald Reagan aprobó el proyecto y se inició la construcción.

Se empezó la excavación de kilómetros de túneles, la construcción de miles de metros cuadrados de edificios, y la contratación de miles de personas, entre ellas cientos de científicos. El coste presupuestado inicialmente (4400 millones de dólares) fue aumentando hasta doblarse en 1992 y casi triplicarse al año siguiente, y las esperadas colaboraciones de otros países no se materializaban. Todo ello sucedía en unos tiempos en que la recesión económica creaba un clima poco propicio a este tipo de gastos, por lo que, finalmente, en octubre de 1993, el Congreso canceló el proyecto.

La cancelación dejó 30 km de túneles, un gran complejo de edificios y una enorme infraestructura eléctrica y de comunicaciones. En 2006, un multimillonario de Arkansas compró la totalidad de las instalaciones por 6,5 millones de dólares, con la intención de montar en ellas el que debía ser el mayor y más seguro centro de almacenamiento de datos

de los Estados Unidos. Sin embargo, pocos meses más tarde, el magnate murió por una lesión en la cabeza a consecuencia de una caída, y su proyecto fue abandonado. Actualmente las instalaciones pertenecen a una empresa química.

Uno de los principales propulsores del proyecto del SSC fue el estadounidense Leon M. Lederman, Premio Nobel de Física en 1988. Cuando el proyecto empezó a verse amenazado, Lederman publicó un libro (escrito junto con Dick Teresi) sobre el bosón de Higgs con el objetivo de destacar la importancia que tendría su eventual descubrimiento. Lo tituló *The God particle* (La partícula de Dios), probablemente porque así resultaba más comercial, o como él mismo escribe en el primer capítulo, porque «el editor no nos dejó llamarlo *La partícula maldita*, dada su infame naturaleza y los gastos que nos está provocando».

Aunque Lederman no pudo evitar la cancelación del proyecto, sí consiguió llamar la atención del público, pues el libro tuvo un gran éxito y desde entonces la denominación «la partícula de Dios» ocupa muchos de los titulares sobre el tema en los medios de

⁵ Equivale a decir que la probabilidad de que los resultados obtenidos en el Tevatron fueran debidos al azar es del 2,8% (una entre 36). En física de partículas se considera que para anunciar el descubrimiento de una partícula debe alcanzarse 5 - sigma, que corresponde a una probabilidad de error del 0,00003% (una entre 3,3 millones).

comunicación (aunque la mayoría de los físicos, tanto creyentes como no, se sienten molestos con ella).

Primeros colisionadores del CERN

En el año 1953, doce estados europeos⁶ firmaron la convención del CERN (la actual Organización Europea para la Investigación Nuclear), un esfuerzo colectivo para revitalizar la investigación física en el continente y crear el que hoy día es el mayor y más complejo laboratorio dedicado al estudio de los constituyentes elementales de la naturaleza. Después de más de medio siglo, con los cambios geopolíticos y las nuevas incorporaciones, cuenta ya con 22 estados miembros⁷.

Su primer acelerador fue el Sincrociclotrón, en 1957, que alcanzaba una energía de 0,6 GeV (menos de la mitad de la que conseguía entonces el americano Bevatron), y apenas 2 años más tarde fue seguido por el sincrotrón de protones PS (*Proton Synchrotron*), que antes de finalizar el año 1959 había llegado a los 25 GeV, un valor récord en aquel tiempo. El PS aceleraba protones que eran guiados por 277 electroimanes

convencionales en una conducción circular con una circunferencia de 628 metros. Se ha mostrado como un dispositivo muy fiable y flexible, hasta el punto de que aún sigue en funcionamiento, ha multiplicado por 1000 la intensidad de su haz de protones y se utiliza en combinación con otros equipos del CERN.

El siguiente e importante paso llegó en 1971 con la construcción de los anillos de almacenamiento con intersección ISR (*Intersecting Storage Rings*), consistentes en dos anillos concéntricos de 150 m de diámetro que no son exactamente circulares, sino que están entrelazados de modo que se intersecan en ocho puntos, en los que colisionan los haces de protones (el ISR fue el primer acelerador que hacía chocar unas partículas con otras). Los anillos están construidos en un túnel subterráneo a unos 200 metros del PS, que es el que acelera inicialmente los protones y los envía a uno u otro anillo de los ISR a través de un conducto de transferencia. La energía alcanzada por los protones era de 62 GeV, equivalente a un haz de 2000 GeV chocando con un objetivo estacionario. El ISR terminó sus operaciones en 1984, pero permitió desarrollar la tecnología

que sería utilizada en aceleradores posteriores.

Con el ISR todavía en plena operatividad, en 1976 entró en funcionamiento el supersincrotrón de protones SPS (*Super Proton Synchrotron*). Con una circunferencia de casi 7 km y 1317 electroimanes es la segunda mayor máquina del CERN y actualmente continúa en funcionamiento. Su principal logro fue el descubrimiento de los bosones W y Z en 1983, lo que valió al italiano Carlo Rubbia y al holandés Simon Van der Meer el Premio Nobel de Física en 1984.

Colisionadores de electrones

Los colisionadores que hemos descrito hasta ahora hacían chocar protones (contra un objetivo estático o contra otros protones) en lugar de otras partículas más ligeras, como son los electrones. Ello presenta ventajas e inconvenientes. La principal ventaja de los colisionadores protón-protón es que los protones tienen una masa muy superior a la del electrón (unas 2000 veces mayor) y pueden ser acelerados a mayores energías. Su inconveniente es que el protón es una partícula compleja, cosa que hace difícil analizar los resultados

⁶ Bélgica, Dinamarca, Francia, Grecia, Holanda, Italia, Noruega, el Reino Unido, la República Federal de Alemania, Suecia, Suiza y Yugoslavia.

⁷ Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Dinamarca, Eslovaquia, España, Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Hungría, Israel, Italia, Noruega, Polonia, Portugal, el Reino Unido, la República Checa, Rumanía, Suecia y Suiza.

del choque de las partículas componentes. En cambio, los colisionadores electrón-electrón o electrón-positrón, al trabajar con partículas elementales, permiten mediciones mucho más exactas. Sin embargo, como son partículas con carga eléctrica, al moverse por el anillo a gran velocidad los haces tienen una importante pérdida de energía por radiación, lo que limita la energía efectiva que puede alcanzarse en el choque. Tal pérdida de energía puede evitarse haciendo que la conducción por donde se mueven las partículas no sea un anillo, sino un conducto en línea recta.

El mayor acelerador lineal del mundo es el SLAC (originalmente *Stanford Linear Accelerator Center*), situado cerca de la Universidad de Stanford, que se encarga de su funcionamiento en nombre del Departamento de Energía de los Estados Unidos. Tiene una longitud de 3,2 km y ha estado operativo desde 1966. Permitió descubrir varias partículas, como el quark encanto⁸ (Burton Richter y Samuel C.C. Ting, que compartieron el Premio Nobel de Física en 1976) y el tauón (Martin Perl, Premio Nobel de Física en 1995). Resultó decisivo para

confirmar que los protones no eran partículas elementales, lo que confirmaba la idea de los quarks, por cuyo descubrimiento se otorgó el Premio Nobel de Física en 1990 a Jerome I. Friedman, Henry W. Kendall y Richard E. Taylor.

Por su parte, el CERN optó por la solución en anillo en su colisionador electrón-positrón LEP (*Large Electron-Positron collider*), para el que hubo que construir un nuevo túnel de 27 km de circunferencia que requirió 3 años de excavación. El túnel está situado bajo tierra, en la frontera franco-suiza, a una profundidad media de 100 m que llega a 175 m cuando pasa cerca de Ginebra. Contaba con 5176 imanes y 128 cavidades aceleradoras, y alcanzaba una energía de unos 100 GeV. Estuvo en funcionamiento desde 1989 hasta 2000, y los experimentos realizados en este tiempo sirvieron para comprobar el modelo estándar y estudiar detalladamente la interacción electrodébil.

LHC

Mientras en los Estados Unidos se planeaba e iniciaba la construcción

del SSC, los científicos europeos consideraban la posibilidad de crear un gran colisionador capaz de competir en la búsqueda del Higgs: el gran colisionador de hadrones LHC (*Large Hadron Collider*). Las primeras reuniones formales para tratar el tema tuvieron lugar en 1984, cuando el SSC estaba ya en fase de diseño. El proyecto europeo se enfrentaba también a la situación económica, que obligaba a aprovechar los túneles existentes del LEP, de 27 km⁹, lo que limitaba la máxima potencia posible a un tercio de la alcanzable en el SSC, para el que se preveía un anillo de 87 km. A pesar de estas dificultades, y gracias en buena medida al empuje del entonces director general del laboratorio Carlo Rubbia¹⁰, en 1991 el consejo del CERN decidió estudiar la propuesta, y a finales de 1994, cuando ya el SSC había sido cancelado, aprobó la puesta en marcha del proyecto.

Llevar a cabo un proyecto de la envergadura del LHC es una tarea descomunal. El LHC es la máquina más grande y más compleja jamás construida, y además exige una

⁸La denominación de los quarks es bastante curiosa. Los hay de seis sabores (tipos): arriba, abajo, encanto, extraño, cima y fondo. Para abreviarlos, suele usarse la inicial del nombre en inglés: u (*up*), d (*down*), c (*charm*), s (*strange*), t (*top*) y b (*bottom*). Estos nombres no se refieren a ninguna característica física de los quarks.

⁹La circunferencia del anillo mide exactamente 26.659 m.

¹⁰Ya citado anteriormente como descubridor de los bosones W y Z en 1983 junto con Simon van der Meer, lo que valió a ambos compartir el Premio Nobel de Física en 1984.

precisión extraordinaria en todos sus elementos. Por ejemplo, es conocido que la atracción lunar genera mareas en los mares y océanos, un efecto que se manifiesta también, en menor magnitud, en la corteza terrestre. Ello provoca que la circunferencia del anillo del LHC sufra una diferencia de 1 mm (¡en 27 km!), y esta alteración debe ser tomada en cuenta para la correcta alineación de los haces de hadrones. El guiado y la aceleración de estos haces se consigue con 9593 imanes superconductores de niobio-titanio, cada uno de 15 m de largo y unas 35 toneladas, que deben ser mantenidos a una temperatura de 1,9 K (-271,3 °C)¹¹ mientras a través de sus 7600 km de cable circula una corriente de 11.850 amperios (el LHC consume tanta electricidad como todo el cantón de Ginebra, y el coste del consumo eléctrico anual del LHC es de unos 20 millones de euros). Además, alrededor del anillo acelerador están los preaceleradores (Linac 2 y 3, PSB, PS y SPS), y cuatro detectores de partículas (ATLAS, CMS, ALICE y LHCb), todos ellos también de gran complejidad.

Los grandes números no se limitan al aspecto constructivo, sino que se extienden también a la obtención y el análisis de los resultados de los experimentos. El LHC contiene unos

150 millones de sensores que recogen datos 40 millones de veces por segundo, generando 15 petabytes (15 millones de gigabytes) de información por año. Toda esta información debe ser estudiada para detectar cualquier posible fenómeno de interés.

La construcción de tan gran proyecto duró 10 años, hasta que por fin, el 10 de septiembre de 2008, el LHC se puso en marcha. Sin embargo, tras unos días de funcionamiento según lo planificado, en los que se iba procediendo a ajustes y comprobaciones, de repente el 19 de septiembre saltaron todas las alarmas. Un pequeño incidente eléctrico en un cable que alimentaba dos imanes hizo que estos se calentaran por encima de la temperatura de superconducción y provocó que el helio líquido entrara en ebullición, dañando a otros 53 imanes y esparciendo por los túneles dos toneladas de gas (durante las pruebas los túneles son desalojados, por lo que no hubo que lamentar ningún tipo de incidente personal).

La reparación de los daños y las necesarias nuevas comprobaciones hicieron que el LHC no pudiera reemprender su funcionamiento hasta el 20 de noviembre de 2009.

Pocos días después alcanzó una energía de 2,36 TeV totales (1,18 TeV por cada haz), lo que superaba el anterior récord del Tevatron. En marzo de 2010 se había llegado ya a los 7 TeV, potencia que se aumentó a 8 TeV en 2012. Estaba previsto que a finales de ese año el LHC iniciaría una parada de 2 años para proceder a aumentar su potencia hasta los 14 TeV. Sin embargo, durante el verano sucedió algo que hizo posponer unos meses tal parada, algo que había sido largamente esperado.

Por fin, el Higgs

Ya hemos visto que en marzo de 2012 los científicos que habían trabajado en el Tevatron, cerrado medio año antes, presentaron un análisis de los últimos datos obtenidos en aquel colisionador, que mostraban indicios de una partícula compatible con el Higgs. Sin embargo, la significación estadística de tales datos era tan solo de 2,2 – sigma, menor que los 3 – sigma requeridos para una «evidencia», y mucho menor que los 5 – sigma que podrían avalar un «descubrimiento».

Mientras tanto, desde el CERN surgían rumores cada vez más insistentes que apuntaban a que los

¹¹ El proceso de enfriamiento requiere varias semanas y se ejecuta en tres fases: descenso de la temperatura hasta -268,7 °C, relleno de los imanes con helio líquido y enfriamiento final hasta -271,3 °C.

dos principales equipos experimentales del LHC, el ATLAS y el CMS¹², estaban obteniendo resultados superiores a los 3 – sigma, y tal vez incluso alrededor de los 4 – sigma. La expectación de la comunidad científica aumentó cuando el CERN anunció para el 4 de julio de 2012 una presentación de los resultados obtenidos por ambos equipos. Además, el CERN estaba invitando a personas de relieve, entre las que figuraban los mismos Peter Higgs y François Englert, así como otros que habían trabajado en la idea del ansiado bosón. Higgs, que ya tenía 83 años, se encontraba entonces en una conferencia en Sicilia y tenía algunos problemas para viajar a Ginebra, pero un veterano del CERN le advirtió de que «si no iba a la presentación después se lamentaría de ello».

Por fin llegó el día de la presentación, y la expectación creada tuvo su premio cuando los equipos del ATLAS y el CMS informaron de que los resultados del análisis de billones de colisiones protón-protón en el LHC durante 2011 y 2012 habían alcanzado un nivel de significación de 5 – sigma, lo que confirmaba el descubrimiento del bosón de Higgs con una masa de alrededor de 126 GeV (o cuanto menos una partícula

que reúne las características que se esperaban del Higgs). Al año siguiente, François Englert y Peter Higgs recibieron el Premio Nobel de Física de 2013. De este modo se cerraba una búsqueda que había durado prácticamente medio siglo.

¿Y ahora qué?

Pasada la resaca del descubrimiento, el CERN cerró el LHC el 13 de febrero de 2013 para proceder a ampliar su potencia y llevar a cabo una serie de mejoras y renovaciones (entre ellas rehacer 10.170 conexiones eléctricas de los imanes, como la que falló en 2008, para permitir el paso de los 13.000 amperios que ahora se necesitan), operaciones que en total requerían unos 2 años. Finalizados estos trabajos, el LHC volvió a ser operativo el 5 de abril de 2015, ahora con una potencia total de 13 TeV y un nivel de colisiones de 700 millones por segundo.

Sin embargo, entre los físicos existe cierto sentimiento de que el descubrimiento del Higgs ha cerrado una etapa, y que ahora el futuro no presenta una clara expectativa. El recorrido de los últimos cien años parecía la progresiva subida de una rampa continua y, de repente, nos encontramos frente a un escalón que

no sabemos qué altura tiene. Para superarlo solo parecen posibles dos opciones. La primera, que podríamos llamar la de la fuerza bruta, consiste en continuar aumentando la potencia de los aceleradores con la esperanza de descubrir partículas que abran nuevos caminos de investigación. Sin embargo, aunque el LHC tiene todavía previsto continuar operativo hasta el año 2030, en la actualidad ya está funcionando a 13 TeV, casi la máxima energía para la que fue diseñado (14 TeV), y hay que tener en cuenta que cualquier nuevo proyecto necesitaría de 10 a 15 años para su construcción. Los colisionadores son máquinas muy caras, tanto de construcción como de mantenimiento, con unos resultados efectivos inciertos, y no aseguran un beneficio práctico a corto plazo, cosa que desanima a quienes deben financiarlos. Parece, pues, que la investigación de partículas ha llegado a un punto muerto difícil de superar, lo que frena nuestra posibilidad de ahondar en el conocimiento íntimo de la materia. Sin embargo, frente a la fuerza bruta hay una segunda opción: el ingenio. Y la historia nos muestra que suele ser en momentos así cuando surge una figura genial que cambia el paradigma existente y aporta una nueva visión de la

¹²El ATLAS y el CMS son los dos mayores detectores de partículas de uso general del LHC. Han sido diseñados de modo independiente y son operados por personal distinto, de manera que los resultados de ambos proporcionen una mayor fiabilidad.

realidad. Y quién sabe, tal vez esta persona está ya ahora mismo trabajando en ello. El propio Sheldon ha trabajado en su propia teoría acerca del bosón de Higgs y, de hecho, sus resultados están relacionados con otro momento de la serie en que dejó de lado su orgullo y se puso a suplicar, nada más y nada menos que ante Howard, que de todos sus amigos es el que más menosprecio recibe por parte de Sheldon. Resulta que a través de su trabajo Howard pudo conocer a Stephen Hawking, un verdadero ídolo para Sheldon, como también para sus amigos, que llegan a ver en DVD una conferencia suya y comentarla¹³. Aunque inicialmente la intención de Howard era lograr que Sheldon pudiera conocer a Stephen Hawking, el trato que este le dispensó cuando se disponía a darle la noticia hizo que cambiara de opinión.

Por supuesto, cuando Sheldon descubrió lo que estaba en juego, intentó razonar con él por todos los medios posibles. «Howard, por favor. Es Stephen Hawking. Quizás mi único igual intelectualmente», imploró. «Tienes que estar de broma», responde Howard. «Trata de ponerte en mi lugar. Imagínate que eres el

único ser humano viviendo en un planeta habitado solo por perros. Y luego resulta que hay otro ser humano». «Espera. ¿Estás diciendo que el resto de nosotros somos perros?» «Vale, ya veo que te lo estás tomando mal. Déjame intentarlo de nuevo. Imagínate que eres el único ser humano viviendo en un planeta habitado solo por chimpancés», intenta corregir Sheldon. «Sal de mi laboratorio.» «Pero si son mucho más listos que los perros», se excusa Sheldon.

A pesar de su evidente falta de tacto, al final Sheldon logró conocer a Stephen Hawking¹⁴, pues aunque Howard no se lo presentó, sí accedió a entregarle de su parte su trabajo sobre el bosón de Higgs. Sheldon estaba convencido de que había logrado revolucionar la manera de entender la partícula, y cuando Stephen Hawking lo llamó personalmente esta ilusión pareció confirmarse:

- Sheldon: Profesor Hawking, es un honor y un privilegio conocerle, señor.
- Stephen Hawking: Lo sé.
- Sheldon: Quiero agradecerle que me dedique su tiempo.

- Stephen Hawking: El placer es mío. He disfrutado mucho leyendo su artículo. Está claro que tiene una mente brillante.
- Sheldon: Lo sé.
- Stephen Hawking: Su tesis de que el bosón de Higgs es un agujero negro acelerando hacia atrás en el tiempo es fascinante.
- Sheldon: Gracias. Fue... se me ocurrió una mañana en la ducha.
- Stephen Hawking: Es curioso. Una pena que esté equivocado.
- Sheldon: ¿Qué quiere decir?
- Stephen Hawking: Cometí un error aritmético en la página dos. Qué metedura de pata.
- Sheldon: No, no... Eso no puede ser cierto. Yo no cometo errores aritméticos.
- Stephen Hawking: ¿Está diciendo que yo sí?
- Sheldon: No, no, no, por supuesto que no. Es solo que, estaba pensando... Cielos, porras, metí la pata, y se lo enseñé a Stephen Hawking. (Sheldon se desmaya.)
- Stephen Hawking: Genial, otro debilucho¹⁵.

¹³ Temporada 1, episodio 1

¹⁴ Temporada 5, episodio 21.

¹⁵ A pesar de esta mala primera impresión, Sheldon y Stephen Hawking mantuvieron posteriormente una comunicación regular y todavía juega con él partidas de *Palabras con amigos* (y se deja ganar), llevando a Sheldon a considerar con orgullo que es amigo de Stephen Hawking.