

El CERN, la física de partículas y el descubrimiento del “bosón de Higgs”

Autor: Marcos Cerrada-Canales de Ciemat

1. INTRODUCCIÓN

Con motivo de la inauguración de la exposición itinerante del CERN en el Real Jardín Botánico de Madrid, el doctor **Marcos Cerrada** dio una conferencia con el siguiente título: “*El CERN: descubriendo la estructura de la materia*”.

La conferencia versó sobre la importancia de contar con un laboratorio internacional, como el CERN, a la hora de abordar proyectos de la envergadura del LHC (*Large Hadron Collider*). Es especialmente destacable que estos momentos que atravesamos son históricos para el CERN y para la investigación en física de partículas elementales. El galardón que la revista SCIENCE ha otorgado al descubrimiento del *bosón de Higgs*, posicionándole en el primer lugar de la lista de los acontecimientos científicos más importante del año 2012, es buena muestra de ello.

De qué están hechas las cosas que nos rodean es una pregunta que la humanidad se viene planteando desde hace mucho tiempo. Baste recordar que ya en la época de la antigua Grecia, **Demócrito** propuso que existían “átomos”, componentes indivisibles de toda la materia. Pasaron sin embargo muchos siglos antes de que la teoría atomística volviera a renacer. Fue en el siglo XIX, de la mano de **Dalton**, y sobre todo con **Mendeleiev** y su famosa tabla periódica de los elementos químicos. Resultó evidente a finales de ese siglo, tras el descubrimiento de la existencia del electrón por **Thomson**, que los átomos correspondientes a estos elementos no eran indivisibles. Los electrones están presentes en todos los átomos y a día de hoy podemos afirmar

que sí son partículas elementales, esto es, que no hay ninguna indicación de que tengan estructura interna. No así los otros componentes del átomo, protones y neutrones. En términos históricos, el electrón ha sido pues la primera partícula elemental descubierta.

El breve recorrido histórico de la historia de las partículas elementales que se abordó durante la conferencia incluyó a continuación un homenaje al famoso experimento realizado por **Rutherford** en 1911, precursor en buena medida de los conceptos básicos que han guiado toda la investigación experimental en el campo de las altas energías. También se hizo mención a los grandes físicos de la primera mitad del siglo XX que formularon la Mecánica Cuántica, uno de los pilares junto con la Relatividad de **Einstein**, de toda la física moderna. Además del electrón, otras tres partículas elementales son necesarias para entender toda la materia que podemos observar: los dos tipos de quarks conocidos como “*up*” y “*down*” (u y d), componentes de protones y neutrones, cuya existencia fue propuesta por **Gellmann** y **Zweig** en 1964, y verificada experimentalmente en un experimento con el acelerador lineal de electrones de Stanford en Estados Unidos, (SLAC, 1968), y los neutrinos, cuya existencia fue propuesta por **Pauli** en 1931, y verificada experimentalmente por **Reines** y **Cowan** en 1956. A pesar de que esta primera “generación” de partículas elementales, compuesta por el electrón y su neutrino, y los quarks u y d, sería suficiente en principio para explicar toda la materia conocida, es bien sabido que nuestro universo es algo más complicado.

A lo largo de la segunda mitad del siglo XX hubo una intensa actividad experimental y teórica que culminó

con la construcción de una teoría que es capaz de describir todo lo que hoy conocemos de los componentes más íntimos de la materia y que hemos dado en llamar “*Modelo Estándar*”. Por el camino fueron apareciendo nuevas partículas elementales. Hoy sabemos por ejemplo que además de la primera generación, existen otras dos copias. En vez de dos quarks, existen seis. Y además del electrón y su neutrino, existen el muón, el neutrino del muón, el tau, y el neutrino del tau. Por el camino también descubrimos que para cada partícula elemental conocida, existe la correspondiente antipartícula. El Modelo Estándar nos permite entender como todas estas partículas elementales interactúan unas con otras, y realizar predicciones que, hasta la fecha, han sido confirmadas experimentalmente.

Los avances en nuestro conocimiento durante este periodo han sido en buena medida consecuencia del progreso realizado a la hora de producir haces de partículas con energías cada vez más altas. Y el CERN ha jugado un papel principal en dicho proceso. El CERN se funda en 1954 con el objetivo de poner en disposición de los países europeos firmantes la infraestructura necesaria para poder realizar esta investigación de manera conjunta. Había llegado a ser evidente que las dos herramientas clave para hacer experimentos en este campo, tanto los aceleradores como los detectores, eran demasiado complejos y costosos para que cada país los abordase de forma independiente. Actualmente son 20 los países europeos miembros del CERN, entre ellos España, y el laboratorio cuenta con la cadena de aceleradores más completa del mundo. Dado el carácter global que este tipo de investigación ha ido adquiriendo, y gracias

a la buena gestión que los científicos europeos han sabido hacer, el CERN ha llegado a convertirse de facto en el laboratorio mundial de la especialidad.

La pieza central del programa del CERN a día de hoy es el LHC, instalado en el mismo túnel que albergó durante la década de los años 90 al acelerador colisionador de electrones y positrones LEP. Son muchos los aspectos que convierten al LHC, frontera de las energías más altas accesibles actualmente, en un instrumento científico de características únicas. Cabe destacar en primer lugar sus enormes dimensiones: los 27 kilómetros de longitud de la circunferencia por la que transitan los haces de protones le convierten en la instalación experimental de mayor tamaño jamás construida. La energía de las colisiones protón-protón que hasta la fecha se ha alcanzado, 8 TeV (Teraelectronvoltios), le transforman en el microscopio de mayor poder de resolución fabricado por el hombre (con posibilidad de escudriñar dimensiones del orden de 0,0000000000000000001 metros). La temperatura de operación de los casi diez mil imanes del LHC es de 1,9 grados Kelvin, o sea menos 271 grados Celsius, le convierten en el lugar más frío del universo, sólo un poco por encima del cero absoluto. El vacío existente en el interior de los tubos por donde circulan los haces es comparable con el existente en el espacio exterior.

Los paquetes de protones, cada uno de ellos conteniendo más de cien mil millones de protones, se cruzan en determinados puntos, donde se encuentran los detectores experimentales, cada 50 nanosegundos (o sea unas veinte millones de veces por segundo). En cada uno de estos cruces se producen, en promedio, unas 20 colisiones protón-protón. Para ello, ha sido preciso reducir la sección transversal en el punto de cruce de los paquetes a valores del orden de la decena de micras. En cada una de las colisiones se pueden producir en torno a unas 50 partículas cargadas, y otras tantas neutras, cuya detección y medida es el objetivo fundamental de los complejos sistemas

experimentales dispuestos en torno a los puntos de cruce.

El volumen de datos que la respuesta electrónica de cada uno de estos detectores produce, una vez filtrada y seleccionada adecuadamente la información relevante, asciende a unos 15 millones de Gigabytes por año (almacenados en CD's y puestos uno encima de otro supondría una torre de 20 Km de alto). Para su procesamiento se requiere una potencia de cálculo equivalente a más de 100.000 procesadores de última generación. Ha sido necesario desarrollar un nuevo paradigma en el mundo de la computación, que denominamos GRID, cuya posible evolución en el futuro, con posibilidad de ser aplicado en otros campos, está todavía por evaluar.

A pesar del enorme desafío tecnológico que representa el entorno que se acaba de describir, los dos grandes experimentos multipropósito, ATLAS y CMS, así como los otros dos cuyos objetivos son más específicos, ALICE y LHCb, han conseguido alcanzar excelentes prestaciones hasta la fecha. Todos ellos son auténticas catedrales bajo tierra (así fueron llamados los experimentos del colisionador antiprotón-protón SPPS del CERN que descubrieron los bosones intermediarios de la interacción débil, los W y el Z, en la primera mitad de los años 80) y en este caso no solamente por su envergadura, sino también por la magnitud del trabajo en equipo que su construcción ha supuesto. Tanto ATLAS como CMS han funcionado, desde el inicio de la operación del LHC a finales de 2009, extraordinariamente bien y los resultados obtenidos han permitido ya alcanzar algunos de los objetivos más importantes que se pretendía cuando se decidió dar luz verde al proyecto LHC.

Hasta hace solo meses, el Modelo Estándar al que antes nos hemos referido tenía un único ingrediente cuya verificación experimental había sido imposible. La existencia del *bosón de Higgs*, propuesta hace casi 50 años, no había podido ser ni confirmada ni desmentida. Tal como se anunció en julio de 2012, en un seminario conjunto de los dos experimentos ATLAS y CMS

en el CERN, los resultados en ambos casos coinciden y la conclusión es el descubrimiento de una nueva partícula, de masa en torno a los 125 GeV (Gigaelectronvoltios). Sus propiedades son compatibles con las predicciones del Modelo Estándar para el tan buscado *bosón de Higgs*.

De todo lo expuesto anteriormente, se puede deducir que gracias al CERN, y a un enorme trabajo colectivo al que afortunadamente esta vez los físicos, investigadores y técnicos de grupos españoles sí que hemos contribuido, nuestro conocimiento de la estructura íntima de la materia y de sus propiedades ha dado recientemente un nuevo e importante paso adelante. Pero queda aún mucho camino por recorrer. En primer lugar hay que completar el análisis de los datos tomados a lo largo de 2012. En ello se está y es de esperar que sea posible determinar en breve plazo, con mayor precisión, las propiedades de esta nueva partícula.

Que sea, o no, el *bosón de Higgs* del Modelo Estándar, es algo que aún está por definir. También está todavía por entender qué papel juega a la hora de explicar el problema de las masas de las partículas. Por no mencionar que sabemos muy poco de lo que es la materia oscura, y nada en absoluto de lo que es la energía oscura. Y sin olvidar que tampoco entendemos como la simetría materia-antimateria, que debe haber existido en los instantes inmediatamente posteriores al "*Big Bang*", ha terminado dando lugar a nuestro universo actual. Demasiadas cosas por comprender y podríamos mencionar algunas más. Por lo tanto, esperaremos ansiosamente a que el LHC abra una nueva ventana de búsqueda cuando alcance los 13 o 14 TeV a principios de 2015. Será entonces otra buena oportunidad para seguir buscando evidencias de nueva física más allá del Modelo Estándar. El objetivo sigue siendo intentar descubrir los misterios que encierra la estructura de la materia a su nivel más elemental.