

El LHC, el instrumento científico más grande del mundo

Antonio Dobado González

Departamento de Física Teórica I.
Universidad Complutense de Madrid, (España).

El 21 de octubre de 2008, tras casi veinte años de diseño y construcción, fue finalmente inaugurado oficialmente el Large Hadron Collider (LHC), es decir, el Gran Acelerador de Hadrones del CERN (Centro Europeo para la Investigación en Física de Partículas), situado en la frontera franco-suiza muy cerca de Ginebra. El LHC está contenido en un túnel circular de 27 km de longitud y cerca de cuatro metros de diámetro que se encuentra a una profundidad comprendida entre 50 y 175 metros. Por el interior de este túnel se extiende un tubo de ultravacío por el que circularán los *hadrones* (protones y núcleos de plomo) en ambos sentidos de giro. Serán mantenidos en su trayectoria circular por un conjunto de 1.232 imanes dipolares de 14,3 metros de largo cuyas bobinas están hechas de un cable superconductor (una aleación de niobio y titanio) que operan a una temperatura de aproximadamente 271 grados bajo cero. Además otros imanes multipolares, hasta un total de 9.300, se encargaran de focalizar y concentrar los haces de partículas que serán acelerados hasta una energía de 7 Teraelectronvoltios por protón, siendo la energía total de los haces comparable a la de un tren de alta velocidad como el AVE español o el TGV francés circulando a 150 km/h.

En ciertos puntos de la circunferencia del LHC, los dos haces de direcciones opuestas se harán chocar. Como resultado de esta violenta colisión, y de acuerdo con la famosa ecuación de Einstein, energía igual a masa por velocidad de la luz al cuadrado, parte de la energía transportada por los protones se convertirá en una cantidad enorme de partículas que serán estudiadas por un conjunto de detectores denominados ATLAS, CMS, LHCb y ALICE (en este último caso se utilizarán núcleos de plomo en lugar de protones), del tamaño de un edificio de hasta diez plantas como en el caso de ATLAS. Dichos detectores, verdaderas maravillas de la tecnología moderna, extraerán datos sobre las partículas producidas a un ritmo estimado de 15 Petabytes anuales (15 millones de Gigabytes) que serán analizados durante los próximos años por miles de físicos de partículas de todo el mundo. En este sentido cabe destacar que la construcción del LHC, aunque liderada por el CERN, puede considerarse como un extraordinario proyecto científico de carácter completamente global al que España, Portugal y otros países

iberoamericanos han contribuido también de forma más que significativa.

¿Cuales son las razones que han llevado a la realización de un esfuerzo de estas proporciones valorado en unos 4.000 millones de euros? La respuesta a esta pregunta se sitúa en el centro mismo de los objetivos de la ciencia física y no es otra que intentar desentrañar la naturaleza de la estructura de la materia a pequeña escala, mucho más allá de las moléculas, átomos y núcleos. Combinando los principios básicos de la Teoría de la Relatividad y de la Mecánica Cuántica, que constituyen los paradigmas fundamentales de nuestra visión moderna del mundo, es posible probar que cuanto menor sea la escala a la que se pretende observar un cierto objeto, mayor será la energía a la que debemos enviar la sonda que vayamos a utilizar para ello. La física de lo muy pequeño es por tanto la física de las altas energías. De esta manera los aceleradores de partículas modernos son cada vez más y más grandes para poder estudiar la materia en sus detalles más íntimos. De hecho no es incorrecto afirmar que el LHC es el microscopio más potente jamás construido con el que vamos a poder desentrañar como están hechas todas las cosas que nos rodean con un detalle impensable hasta el momento.



Descenso del último de los 1.232 imanes dipolares superconductores del LHC.

Fruto del trabajo de los físicos de partículas de la segunda parte del siglo pasado, hoy en día sabemos que toda la materia conocida está formada por un número muy pequeño de constituyentes fundamentales o partículas elementales, a saber; los llamados leptones, que incluyen al electrón, el muón y el tau, junto con sus tres neutrinos correspondientes,

y los seis quarks *up*, *down*, *charm*, *strange*, *top* y *bottom*. Estas doce partículas nos permiten describir todo lo que nos rodea y pueden considerarse la moderna tabla periódica que juega un papel análogo al que tuvo en su momento la famosa tabla periódica de Mendeleev, aunque a un nivel mucho más profundo de elementalidad. Los diferentes agregados a que dan lugar estas partículas elementales se producen mediante una serie de fuerzas, o más propiamente interacciones, que actúan entre ellas y que reciben el nombre de nucleares o fuertes, electromagnéticas, débiles y gravitacionales. Desde el punto de vista moderno estas interacciones se interpretan como el resultado del intercambio de otro tipo de partículas denominados *bosones gauge* y que reciben los nombres de *gluones* para las nucleares, fotón para las electromagnéticas, W y Z para las débiles y *gravitón* para las gravitacionales. La manera precisa en que se producen los intercambios de estos de *bosones* para dar lugar a las diferentes interacciones entre las partículas elementales antes mencionadas es bien conocida y, salvo en el caso de la gravitación, se resume en una teoría denominada el Modelo Estándar que se desarrolló durante los años setenta y desde entonces no ha hecho sino confirmarse en todos los experimentos realizados hasta la fecha.

El Modelo Estándar está constituido por dos subteorías fundamentales. Una de ellas es la llamada Cromodinámica Cuántica, que describe las interacciones fuertes entre quarks, y la otra es la llamada Teoría Electrodébil, que como su nombre indica describe las interacciones débiles y electromagnéticas entre quarks y leptones. Esta última fue propuesta por Glashow, Weinberg y Salam, por lo que recibieron el Premio Nobel de Física en 1979. Sin embargo la consistencia de esta exitosa Teoría Electrodébil requiere la presencia de algún mecanismo responsable de las masas de los *bosones* W, Z y de los quarks y leptones que observamos en los experimentos. En la versión original del Modelo Estándar este mecanismo se realizaba mediante la incorporación de una nueva partícula denominada *bosón* de Higgs, en honor a uno de los primeros físicos en introducirla. Esta partícula no ha sido observada hasta la fecha y bien podría no existir. De cualquier forma, si éste es el caso, a partir de primeros principios muy bien establecidos de la física moderna, es posible inferir que deben existir otras partículas que jueguen un papel similar al de la postulada partícula de Higgs.

La finalidad del LHC es por tanto encontrar la partícula Higgs, o aquellas que la sustituyan en la naturaleza, entre la infinidad de materia producida en cada una de las violentas colisiones que se producirán en su interior, intentando por tanto resolver así el misterio del origen de las masas de las partículas elementales y además cerrando de esta forma un capítulo fundamental de nuestro conocimiento de la estructura íntima de la materia. Una de las cosas que se comentó con profusión el pasado septiembre en los media

era que la finalidad del LHC era reproducir las condiciones de los primeros instantes de la vida del Universo, es decir los primeros momentos del *Big Bang*. En realidad esto es cierto solo de manera muy tangencial en el sentido de que, en estos primeros instantes, el universo estaba compuesto de un plasma o sopa extremadamente caliente de partículas elementales intercambiando *bosones gauge* continuamente, lo cual ha sido utilizado un poco exageradamente por el CERN para hacer una, a nuestro juicio innecesaria, publicidad del LHC en los medios de comunicación. En todo caso tampoco cabe descartar en absoluto que en el LHC descubramos fenómenos completamente nuevos como la llamada supersimetría, verdadera panacea de la física de partículas según algunos, o dimensiones espaciales extra aparte de las tres ya conocidas, por poner sólo un par de ejemplos.

En este sentido una de las posibilidades más excitantes sería la de que el LHC descubriera la partícula o partículas responsables de la llamada materia oscura. Como sabemos desde finales del siglo pasado, la materia ordinaria constituye solamente el 5% de la masa total del universo, estando el 23% constituido por esta materia oscura de origen completamente desconocido. El 72% restante lo constituye la llamada energía oscura de la cual se ignora esencialmente todo, siendo este hecho uno de los problemas abiertos más importantes de la física contemporánea.

Uno de los aspectos chocantes de la información vertida recientemente en los medios de comunicación sobre el LHC se refiere a los supuestos peligros que su puesta en marcha podría acarrear. En particular se ha hablado de la posibilidad de creación de un agujero negro que eventualmente podría absorber todo el planeta Tierra. Para tranquilidad del lector es importante resaltar que semejante escenario es a todas luces completamente absurdo. De acuerdo con la Teoría General de la Relatividad, que es la teoría de la gravitación vigente en este momento, la probabilidad de producir agujeros negros en el LHC es esencialmente nula. Sólo podrían producirse mini agujeros negros si existen las dimensiones espaciales adicionales antes mencionadas, enrolladas sobre sí mismas a escalas microscópicas. Sin embargo, en ese caso, una vez producidos se desintegrarían inmediatamente, sin producir ninguna catástrofe como la antes descrita, en virtud de un proceso descubierto por Hawking (la llamada radiación de Hawking). En realidad la producción de estos mini agujeros negros en el LHC sería enormemente deseable pues nos daría una información valiosísima sobre algunos aspectos cuánticos de gravitación que constituyen una de las asignaturas pendientes de la física teórica. En todo caso colisiones mucho más violentas que las que se darán en el LHC ocurren todos los días en la atmósfera terrestre producidas por los rayos cósmicos y la Tierra lleva existiendo más de 4.500 millones de años sin ningún problema del tipo mencionado.

De todo lo dicho hasta ahora cabe concluir que la actividad que se llevará a cabo en el LHC tiene un eminentemente carácter de investigación básica. Sin embargo las tecnologías que se han desarrollado para su construcción (mecánicas, electrónicas, criogénicas, informáticas por citar algunas) pueden revertir en un lapso relativamente breve de tiempo en beneficio directo de la sociedad en forma de transferencias tecnológicas a infinidad de sectores productivos e incluso sanitarios en los que el CERN tiene acreditada experiencia (*spinoffs*). En este sentido podemos destacar el desarrollo de las llamadas tecnologías GRID, que han sido puestas a punto para el tratamiento de las cantidades masivas de información que producirá el LHC, y que permitirán, entre otras cosas, que miles de ordenadores conectados en red puedan compartir, no sólo información, sino recursos de *hardware*, tiempo de proceso, memoria etc, dando así una nueva dimensión a la *World Wide Web*, que por cierto fue inventada también en el CERN en 1990.

El 10 de septiembre de 2008 circularon los primeros haces de protones por el interior del LHC exitosamente. Días des-

pués, el 19 de septiembre, un inesperado fallo en la conexión entre dos imanes produjo el escape de cierta cantidad de helio del sistema criogénico que los mantiene en el estado superconductor. Esta avería, junto con la parada invernal de la actividad experimental del CERN que se produce todos los años para ahorrar energía, retrasará la reanudación del programa previsto del LHC hasta finales del próximo septiembre de acuerdo con la información proporcionada por las autoridades del CERN. En todo caso este retraso es poco significativo en un proyecto científico de esta envergadura cuya proyección temporal es de varias décadas. Si todo va como casi todos deseamos, el LHC estará muy pronto de nuevo en funcionamiento y sin duda nos proporcionará sorprendentes descubrimientos que iluminarán nuestra visión de la materia y en general del mundo que nos rodea y de él que formamos parte. Desde aquí le deseamos el mayor de los éxitos.

El autor desearía agradecer al Departamento de Física del CERN su hospitalidad durante la redacción del presente artículo.