
El LHC, un moderno Prometeo

Luis Álvarez-Gaumé
1 diciembre, 2008

El 19 de septiembre de 2008, cuando se intentaba aumentar la corriente en los imanes superconductores del acelerador del LHC (el gran colisionador hadrónico -Large Hadron Collider- construido cerca de Ginebra por el Laboratorio Europeo de Física de Partículas, conocido por sus siglas originales como CERN) a cerca de nueve mil amperios para eventualmente iniciar el programa de colisiones, una soldadura defectuosa entre dos imanes generó un arco eléctrico que rompió la cadena de frío en parte del cuarto sector del acelerador. Como consecuencia, hubo una importante fuga de helio a bajísimas temperaturas y algunos de los componentes se vieron dañados mecánicamente. Aunque aún no hay un diagnóstico completo sobre el tiempo que requerirán las reparaciones, al menos los repuestos sí que se encuentran en el laboratorio. Habrá que cambiar alrededor de veinticinco imanes tipo dipolo, y cerca de una decena de los de tipo cuadrupolo. Teniendo en cuenta las conexiones entre ellos, esto representa algo más de medio kilómetro de longitud, de un total de veintisiete. Se prevé que la máquina vuelva a funcionar en la primavera de 2009 y que se produzcan colisiones al inicio del verano. El hecho de que sólo fallara una de las miles de soldaduras entre imanes a lo largo del acelerador constituye una buena noticia. La mala es que su existencia ha producido daños importantes. También será relativamente sencillo introducir un sistema informático automatizado que observe permanentemente la temperatura en las juntas entre

los diferentes componentes de la máquina para detectar y aislar cualquier anomalía. En sistemas tan complejos es desgraciadamente posible que estas cosas sucedan. Un ejemplo lo representa el telescopio Hubble. Poco después de su lanzamiento, los ingenieros de la NASA se dieron cuenta de que el espejo principal presentaba una cantidad de aberración esférica intolerable. Hizo falta una misión específica de la lanzadera espacial para corregir la vista al Hubble. Terminada la operación, el telescopio ha revolucionado nuestra visión del universo.

Superado, pues, el incidente, dentro de pocos meses entrará en funcionamiento la máquina más compleja jamás construida por el ser humano: el LHC. Desde que se propuso a principios de los años ochenta hasta hoy, ha pasado un cuarto de siglo intenso de diseño, desarrollo industrial y cooperación internacional que han hecho posible la realización de esta maravilla tecnológica. El nuevo acelerador de partículas proporciona un instrumento único para estudiar las leyes de la naturaleza en un ámbito de energías sin explorar, y que promete revolucionar nuestra comprensión del universo en sus aspectos más fundamentales. Los resultados que proporcione en los próximos años nos dirán si se satisfacen las expectativas que en él se han depositado. Como Prometeo, intentará robar a los dioses sus secretos más recónditos. Esperemos no ser castigados más aún por semejante atrevimiento.

El acelerador se encuentra a una profundidad media de cien metros en un túnel con una circunferencia de veintisiete kilómetros. Utilizando toda una cadena de aceleradores más pequeños, se inyectan en el LHC en direcciones opuestas haces de protones. El protón es el núcleo del átomo de hidrógeno, así que primero hay que ionizar una buena cantidad de átomos, coleccionar los protones, colimarlos, acelerarlos e inyectarlos en el anillo principal, donde son acelerados hasta una energía de siete TeV (teraelectronvoltios), es decir, siete mil veces el equivalente de su masa en reposo. A estas energías los protones circulan dentro del acelerador prácticamente a la velocidad de la luz. Para hacerse una idea, imaginemos que lanzáramos simultáneamente un rayo de luz y un haz del LHC hacia la estrella más cercana, alpha-centauri, que dista de nosotros la friolera de algo más de cuatro años-luz. La luz llegaría antes, pero por sólo tres décimas de segundo. A esa velocidad, cada haz de partículas da más de once mil vueltas al anillo por segundo. Merece la pena proporcionar algunos detalles.

Cuando el LHC funcione según ha sido diseñado, dos haces de protones circularán en direcciones opuestas, cada uno con energías de siete TeV. Los haces estarán formados por grupos de cien mil millones de protones separados por sólo veinticinco nanosegundos. En román paladino, un nanosegundo es la milmillonésima parte de un segundo. Por tanto, la luz recorre treinta centímetros en un nanosegundo. Los grupos de protones están separados por sólo ocho metros. Evidentemente, resulta difícil mantener confinados a semejante número de partículas a esas velocidades. Pero para hacer la situación más divertida todavía, se hace chocar a los dos haces de forma casi frontal cuatro veces por giro, y los resultados de estas colisiones se estudian en gigantescos detectores que se encuentran alrededor de las zonas de colisión.

Como puede imaginarse fácilmente, para poder «domar» estos haces, hace falta utilizar tecnologías punta que se desarrollaron en el CERN junto con muchos otros laboratorios de todo el mundo y con participación, asimismo, de la industria. Una de las constantes en la construcción de máquinas como el LHC es una simbiosis estrecha entre la industria y los laboratorios que se dedican a la ciencia

básica y que producen grandes cantidades de transferencias tecnológicas. Un ejemplo claro es la invención de Internet (la World-Wide-Web), que se produjo en el CERN a principios de los años noventa, justamente cuando estaba entrando en funcionamiento el acelerador que ocupaba el túnel antes del LHC, el acelerador LEP. Es difícil imaginar hoy en día el mundo sin Internet. La aldea global de Marshall McLuhan se ha realizado de una forma que nadie podía imaginar. Es importante decir que la WWW se hizo inmediatamente de dominio público. Por algo la financiación del CERN proviene de los contribuyentes de la mayoría de los países europeos.

Los haces de protones circulan en tubos con una sección casi circular de unos cuantos centímetros de radio. El interior de los tubos se evacua a niveles de vacío inferiores a los del espacio interestelar. Si no fuese así, los haces tendrían distorsiones importantes y se perderían. Las técnicas de alto vacío tienen muchas otras aplicaciones en la industria. La aceleración de los protones se lleva a cabo utilizando cavidades de radiofrecuencias que no describiremos en detalle, y para mantenerlos en órbita alrededor del anillo hay que utilizar potentes imanes. El campo magnético de los imanes es superior a los ocho Tesla (unas treinta y cinco mil veces superior al campo magnético terrestre). Imanes de esta intensidad de campo no existen en la naturaleza. Se construyen utilizando materiales superconductores. En el caso del LHC, hay un total de nueve mil imanes, que funcionan a una temperatura de 1,9 grados Kelvin, o doscientos setenta y un grados centígrados bajo cero. El hilo superconductor está hecho con una aleación de niobio y titanio. Los hilos que tejen la estructura superconductora tienen un espesor de unas milésimas de milímetro, y si se pusieran todos en fila india, podríamos ir y volver al Sol cinco veces y contaríamos con un margen suficiente como para hacer varios viajes de ida y vuelta a la Luna. Entre todos estos imanes hay más de mil doscientos que se conocen como los dipolos. Son los responsables del campo magnético principal, que mantiene a los protones en órbita. Cada uno mide quince metros, y son una auténtica maravilla tecnológica.

Cuando empiecen a producirse colisiones, uno de los grandes desafíos que se presentan es la acumulación y análisis de los datos que se generen. La cantidad de información retenida cada año será de quince o veinte petabytes (un petabyte equivale a un millón de gigabytes). De hecho, durante la instalación del LHC, se ha realizado un enorme esfuerzo para crear el GRID, similar a la WWW, pero en el que en cada nodo, en lugar de haber sólo información, se tiene también capacidad de cálculo, o CPU. De esta forma, el GRID se convertirá en una forma de inteligencia de silicio planetaria que se encargará en un principio de analizar los datos que produzca el LHC, pero que, en un tiempo relativamente corto, estoy seguro de que revolucionará nuestras vidas, como ya lo hiciera la WWW.

Podríamos continuar ofreciendo una lista de logros tecnológicos que se han conseguido con la construcción del LHC. Además de los componentes técnicos, existe un aspecto humano fundamental. El CERN, y el LHC en particular, representan un ejemplo a seguir en las relaciones internacionales. Hay físicos y técnicos participantes procedentes de más de ochenta países, con enormes diferencias culturales y religiosas, pero que trabajan en armonía para hacer progresar la ciencia y nuestro conocimiento del universo.

Hay muchas cosas que nos gustaría aprender de esta máquina. La lista es larga, y depende un poco de quién la formule. La primera es el origen de la masa de las partículas elementales. Sin entrar en detalles técnicos, el andamiaje de nuestra comprensión de este parámetro requiere la existencia de una partícula aún no detectada. El llamado bosón de Higgs, que lleva el nombre de uno de los físicos

que la introdujeron en los años sesenta, Peter Higgs (los otros dos son Robert Brout y François Englert). La máquina se ha diseñado para explorar el rango completo de energías en las que podría encontrarse esta exótica partícula. Dependiendo de cuál sea su masa, será más o menos difícil de encontrar. Es dudoso que sea el primer descubrimiento que se anuncie, dado que es bastante difícil de identificar.

Un gran interrogante que comparten físicos de altas energías, cosmólogos y astrofísicos es la composición de la materia oscura a nivel galáctico. Desde nada menos que 1933 se tiene la evidencia de que las galaxias contienen una gran cantidad de materia inerte y oscura. A finales de los años sesenta y principios de los setenta, el estudio detallado de las curvas de rotación de las galaxias nos permitió deducir que hay cinco veces más materia oscura alrededor de las galaxias que materia lumínica ordinaria. Estas observaciones astronómicas se han confirmado de forma independiente analizando los datos de los satélites COBE y WMAP que se utilizaron para estudiar las fluctuaciones del fondo de radiación cósmica. Una de las hipótesis más razonables es que la materia oscura está compuesta de partículas insensibles a las fuerzas nucleares y electromagnéticas pero que, al tener masa, actúan gravitacionalmente. Hay muchas teorías que predicen la existencia de estas partículas con un rango de masa que las haría accesibles al LHC. Entre ellas, las llamadas teorías supersimétricas y las que postulan la existencia de dimensiones extra (aparte de largo, ancho y alto) relativamente grandes (como máximo micrones, millonésimas de metro).

La detección de las partículas que formen la materia oscura es muy sutil, debido al hecho de que prácticamente no interactúan con los componentes de los detectores instalados en el LHC. Su descubrimiento es indirecto, por medio de la cuidadosa medición de la energía y cantidad de movimiento que se ha perdido en el detector. Es lo mismo que sucede, por ejemplo, con los neutrinos, que se producen desintegraciones de partículas en los aceleradores, y cuya presencia se certifica por el hecho de que se llevan una parte de la energía inicial de la colisión.

Si el LHC pone de manifiesto alguno de los esquemas propuestos para explicar la materia oscura, seremos testigos de una profunda revolución en la Física. Un nuevo mundo se habrá abierto ante nosotros, y es difícil vislumbrar cuáles serían las consecuencias de este descubrimiento en nuestra comprensión de la naturaleza. Algo que puede decirse con certeza es que el LHC no sería el último gran acelerador de partículas en la historia de la humanidad. Otras máquinas vendrían después a explorar en detalle los descubrimientos hechos con esta máquina. Los aceleradores hadrónicos, que colisionan protones, o núcleos, se conocen como máquinas de descubrimiento porque permiten explorar simultáneamente gran cantidad de colisiones entre sus constituyentes. Una vez que existe evidencia de nuevas partículas, es mucho más fácil estudiarlas en términos de aceleradores de electrones y positrones que, al no ser sensibles a las interacciones fuertes, producen estados finales mucho más simples de analizar.

La próxima década será determinante para el futuro de la física de altas energías. Puede que entremos en una nueva edad de oro, como fueron los años sesenta y setenta, con magníficos e inesperados descubrimientos. Puede suceder también que el bosón de Higgs sea el último descubrimiento en este campo, al menos durante un largo período de tiempo. La última palabra la tiene la naturaleza.