

El señor de los anillos

Alejandro Gangui

Instituto de Astronomía y Física del Espacio, UBA-CONICET

El acelerador de protones cuya puesta en funcionamiento atrajo en las últimas semanas la atención de la prensa mundial está diseñado para producir colisiones de haces de esas partículas subatómicas haciéndolas desplazarse en sentidos opuestos –con energías cinéticas mayores que las generadas hasta la fecha con máquinas del mismo tipo– por un túnel circular de 27km de largo situado 100m por debajo de la superficie de la Tierra en las afueras de Ginebra. ¿Para qué?

One ring to rule them all, one ring to find them...
(Un anillo para regirlos todos, un anillo para encontrarlos...)
JRR Tolkien, *The Lord of the Rings* (El señor de los anillos)

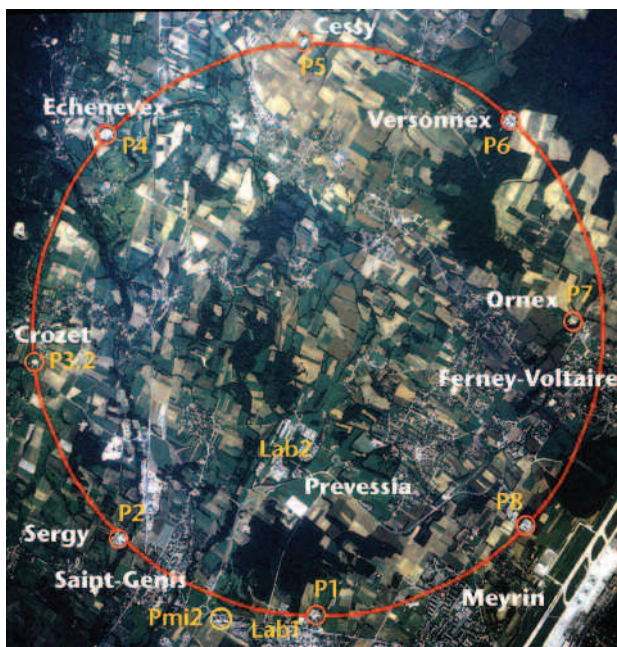


Túnel del gran colisionador de hadrones de la Organización Europea para la Investigación Nuclear con todos sus imanes e instrumentos.
Wikipedia commons.
Autor: Julian Herzog

La respuesta sencilla, casi simplista, a la pregunta con que termina el copepe de esta nota –que sin duda se hace el público, sobre todo cuando se entera de que el costo de construir y operar la máquina con la que se realizan los experimentos se mide en miles de millones de dólares– se puede sintetizar en otra pregunta, que los experimentos de Ginebra procuran responder: *¿De qué está compuesto y cómo cambia el mundo material del que somos parte?* Esta pregunta se formula tanto acerca del universo entero como de sus componentes más pequeños, es decir, de las partículas que forman los átomos (los cuales, a su vez, constituyen las moléculas y, estas, todas las cosas materiales, incluso los seres vivos). He aquí lo que se busca saber haciendo los experimentos que ha comenzado a realizar la máquina.

El mundo científico piensa hoy que el universo se halla en continua expansión. Llegó a esta convicción mediante el análisis de varios fenómenos físicos, entre ellos, las características de la luz y de otras radiaciones que llegan a la Tierra desde el espacio, por ejemplo, desde estrellas y galaxias. También concluyó que, al expandirse, el universo se enfría, como lo hacen los gases en la Tierra. En otras palabras, considerando la realidad en una escala cosmológica, podemos deducir que las galaxias lejanas se distancian unas de otras cada vez más, y que el espacio entre ellas, inundado por radiación de diferentes longitudes de onda, se va enfriando lentamente con el transcurso del tiempo.

Ante estas constataciones y deducciones, llegamos a la conclusión de que, si miramos hacia atrás en el tiempo cósmico en lugar de hacerlo hacia adelante, en vez de encontrarnos con un universo cada vez más frío y disperso, tendremos uno cada vez más caliente y concentrado. Y llegaremos en algún momento a una situación física de increíble concentración, con densidades y temperaturas jamás imaginadas para el pasado remoto de nuestro universo, y a partir de las cuales el cosmos evolucionó y se expandió hasta llegar a ser lo que es hoy. Los científicos llaman a este proceso evolutivo el modelo de la *gran explosión* o, mejor dicho, se refieren a él como el modelo del *Big Bang*, expresión que inventó en tono despectivo el astrónomo inglés Fred Hoyle (1915-2001) para referirse a la teoría que acabamos de

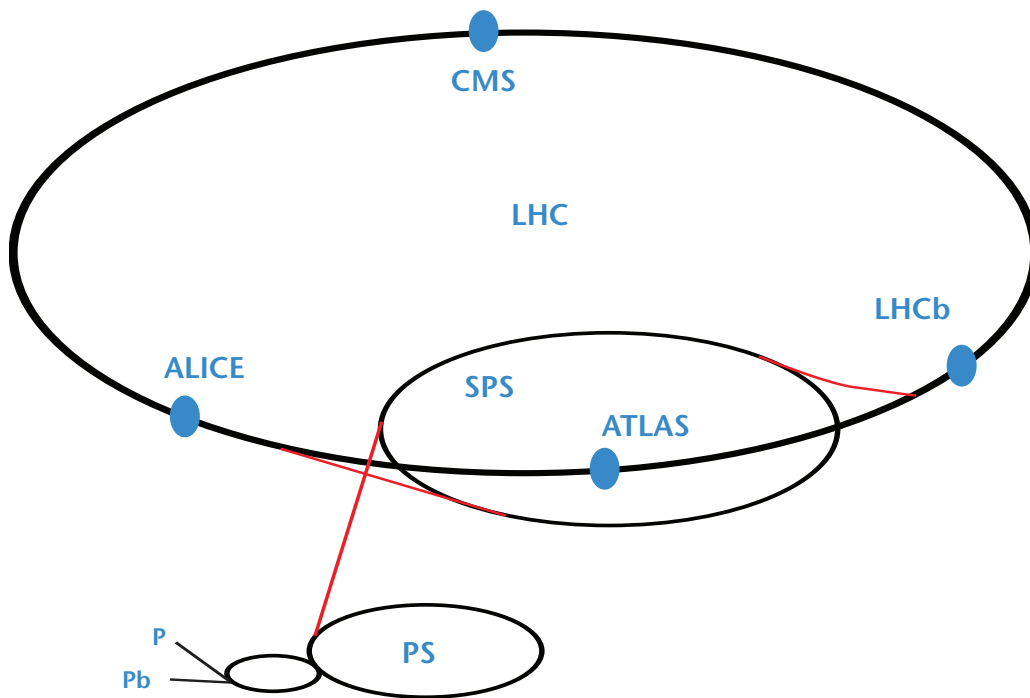


Comparación entre el *Anello di Nardò* (un autódromo ubicado en el nivel del mar y a pocos kilómetros de este, en la Puglia italiana, sobre el golfo de Taranto) y el anillo del gran colisionador de hadrones (construido a unos 100 metros debajo de la superficie de la tierra en la frontera suizo-francesa). Para acelerar autos a 500km/h en un circuito de pequeñas dimensiones se precisa de un anillo de unos 2km de radio. Acelerar protones a velocidades próximas a la de la luz requiere de un anillo no mucho mayor: con el doble de radio alcanza. Fuentes: CERN / Wikipedia

sintetizar, que Hoyle rechazaba y que comenzó a formular hacia 1930 en lenguaje matemático el astrónomo y abate belga Georges Lemaître (1894-1966), de la Universidad de Lovaina.

Si, como una forma de conocer la índole del mundo material al que pertenecemos, nos interrogáramos sobre cómo habrá sido el universo que emergió de semejante estado embrionario, nos encontraríamos explorando los estados de la materia a temperaturas y densidades extremadamente altas. Si bien no podemos realmente trasladarnos hacia el pasado para constatar cómo eran las cosas entonces, podemos hacerlo con la imaginación y aplicar las leyes de la física para determinar las características del universo de otros tiempos.

Al elevarse la temperatura, los corpúsculos de materia que forman todas las cosas –lo que nos rodea y también los cuerpos celestes– comienzan a disgregarse y se separan en sus átomos más simples. Al mismo tiempo, se calienta el fondo de radiación que inunda el espacio entre las galaxias. Los corpúsculos de radiación, o fotones, adquieren energía y dejan de ser inofensivos para la materia. Cuando, en ese hipotético viaje hacia el pasado cósmico, el universo alcanza una temperatura de unos pocos miles de grados, comparable a la que hoy reina en la atmósfera del Sol, los átomos ya no pueden sobrevivir al bombardeo de los fotones y se dividen en sus componentes más simples: en núcleos atómicos con carga eléctrica positiva y electrones con carga eléctrica negativa.



Áreas experimentales del gran colisionador de hadrones. La trayectoria de los protones comienza en los aceleradores lineales (en P y Pb). Continúa su recorrido en el sincrotrón de protones (PS), en el super sincrotrón de protones (SPS) y finalmente se los hace ingresar en el túnel de 27km de largo del gran colisionador de hadrones. En el anillo principal hay cuatro detectores de partículas resultantes de colisiones, marcados con puntos azules. Wikipedia commons. Autor: Arpad Horvath

Nos encontramos así con un universo que nos podemos imaginar como una suerte de sopa incandescente de fotones, electrones libres y núcleos atómicos, estos últimos constituidos, a su vez, por protones y neutrones. Tanto protones como neutrones son partículas subatómicas relativamente pesadas, si se las compara con los electrones; por ello se las agrupa genéricamente bajo el nombre de *hadrones* (la raíz griega *hadros* significa, precisamente, robusto o pesado).

Si continuamos nuestro viaje hacia el pasado, el continuo aumento de temperatura y densidad nos lleva a un estado en el cual ni siquiera los núcleos atómicos pueden subsistir. Estamos ahora en un universo cuya temperatura alcanza unos mil millones de grados, en el que los núcleos de los átomos simplemente se deshacen. Las fuerzas que los mantienen unidos procuran impedir la disgregación de los protones y neutrones que los integran, pero la temperatura es tan alta que el continuo choque de fotones contra ellos los deshace.

Pero los hadrones (es decir, protones y neutrones) no son partículas simples o elementales. Están formados por partículas más simples que ellos, los *quarks*. Hacen falta tres quarks para conformar un protón o un neutrón (en distinta combinación en cada uno). ¿Son los quarks los componentes más elementales de la materia, los que no se pueden dividir? No lo sabemos en estos momentos, pero los científicos quieren averiguarlo.

Por encima de un millón de millones de grados (10^{12}), en la llamada *era hadrónica*, los protones y neutrones se desarmen y, en su lugar, quedan tan solo los *quarks* y sus interacciones, acompañados de electrones y otras partículas livianas, además de un mar incandescente de radiación que los inunda.

Los modernos aceleradores de partículas –y aquí llegamos a la máquina ginebrina que motiva esta nota– permiten recrear determinadas condiciones que imperaron en esos tempranos instantes de nuestro universo. Alternativamente, siempre podríamos, por supuesto, tratar de detectar procesos astrofísicos que se produzcan en zonas particularmente calientes del universo observable, como los núcleos de algunas galaxias activas (después de todo, un cosmólogo ruso decía que el universo era el acelerador de los pobres). Pero en ese caso seríamos meramente observadores afortunados y no tendríamos forma de realizar un experimento en condiciones controladas.

Un acelerador de partículas, en síntesis, permite recrear en condiciones controladas de laboratorio algunas características del universo en épocas arbitrariamente elegidas del pasado, incluso en tiempos tan primigenios, cuando nada de lo que hoy nos rodea podía existir. En cierto sentido, ese universo primigenio era mucho más simple que el de hoy: consistía de algunas pocas partículas elementales y algunas interacciones entre ellas, todo regido por un puñado de leyes físicas y simetrías básicas de la naturaleza (que aun quedan por revelar).

La eficacia con que un acelerador puede realizar su tarea solo depende de la inteligencia de los científicos que diseñen los experimentos, de los ingenieros que construyan la máquina para llevarlos a cabo y de los políticos que asignen los presupuestos para financiarlos.

El acelerador puesto en funcionamiento en Ginebra se llama *gran colisionador de hadrones* y es conocido por la sigla LHC (de *Large Hadron Collider*). Está ubicado en la Organización Europea de Investigaciones Nucleares, conocida por la sigla CERN, que deriva de su antiguo nombre *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*. Es el acelerador

de partículas más grande, tecnológicamente más avanzado y más costoso que se haya construido hasta el momento.

Su diseño, construcción y puesta a punto requirieron años de trabajo de miles de personas de varias decenas de nacionalidades (incluida la argentina). Fue puesto oficialmente en funcionamiento el pasado 10 de septiembre, cuando un haz de protones comenzó a circular en el interior de su circuito cerrado, un anillo de 27km de recorrido que se halla bajo tierra en la frontera entre Francia y Suiza.

El LHC permitirá recrear ciertas condiciones físicas del universo cuando su edad era de una millonésima de millonésima de segundo. Eso significa esclarecer las características del universo embrionario muy cerca de lo que hoy se conoce como la *singularidad* (hipotético evento espaciotemporal en el que las leyes actuales de la física ya no valen), pero no implica determinar el origen del universo. Ni siquiera permite hablar en términos científicos de origen del universo, ni afirmar o negar sobre bases científicas que haya habido tal origen. Es claro, entonces, que la noción de crear un universo en el laboratorio –o recrear el supuesto origen del cosmos que conocemos–, como fue reiteradamente escrito y anunciado en los medios, carece de fundamento.

Las expectativas de los científicos están a la altura de la envergadura del gigantesco acelerador, que hará colisionar haces de protones con energías cinéticas jamás logradas antes en un laboratorio. Como consecuencia de esos choques, se generará una lluvia de partículas menores también dotadas de energía extremadamente alta. Entre las partículas así generadas quizá se encuentren algunas desconocidas o nunca encontradas; por ejemplo, la muy buscada partícula de Higgs, así llamada por Peter Higgs (n. 1929), un físico de la Universidad de Edimburgo que pos-

tuló su existencia. Es una de las partículas previstas por el modelo matemático teórico que busca explicar el funcionamiento del mundo subatómico, pero de cuya existencia nunca se tuvo evidencia empírica o experimental.

El mencionado modelo se denomina *modelo estándar* de la física de las partículas elementales. Describe con gran precisión y sutil elegancia matemática todas las partículas que componen la materia y las interacciones conocidas entre ellas. El grado de acuerdo existente entre la teoría y las observaciones y mediciones hechas en los experimentos es único en toda la física. La teoría predice cómo determinadas partículas adquirieron su masa, una propiedad que las diferencia de los corpúsculos de luz, los fotones, para los que el modelo estándar indica (y la experiencia actual ratifica) que son no masivos. Pero hay dos discrepancias entre ese modelo y las observaciones empíricas del mundo: una es la fuerza de gravedad, que el modelo no incluye; la otra es la partícula de Higgs, que el modelo prevé pero las mediciones y experimentos no han encontrado.

Confirmar experimentalmente la existencia de la partícula de Higgs es esencial para la supervivencia del modelo estándar en su forma actual. Este postula que toda partícula tiene un campo asociado (los científicos hablamos indistintamente de campos o de partículas, de acuerdo con nuestra conveniencia). Así, con el fotón está asociado el campo electromagnético. El modelo estándar establece que muchas de las partículas hoy conocidas interactúan con el campo de Higgs. Las que lo hacen, adquieren masa, mayor o menor según su particular modo de interacción. Las que no lo hacen, permanecen sin masa. Tal es el caso de los fotones.

El campo de Higgs puede imaginarse como un medio que todo lo impregna, provisto de cierta viscosidad que dificulta el movimiento de las partículas que lo atravie-

EL LARGE HADRON COLLIDER O LHC (*gran colisionador de hadrones*)

¿Para qué se emplea? Para hacer chocar entre sí haces de protones que marchan en sentidos opuestos, y así generar inmensos volúmenes de otras partículas de alta energía y alta temperatura. Con ello se explora la física de los tiempos muy tempranos del universo. Particularmente, se busca una partícula elemental llamada técnicamente *bosón de Higgs* que, dentro del modelo estándar de la física subatómica, otorga masa a las demás partículas. Por eso alguien tuvo la ocurrencia de llamarla la *partícula de Dios* y, por extensión, se habló de la *máquina de Dios*, sin que se trate en ambos casos de otra cosa que una fantasía.

¿Es el acelerador más grande construido? Es el acelerador que realiza colisiones de partículas con más energía. El que le sigue, el *Tevatrón* del Fermilab en los Estados Unidos de Norteamérica, alcanza un poco menos de un tercio de la energía del LHC.

¿Por qué es un circuito cerrado? Por la tecnología actual. Hacer un recorrido lineal requeriría varias veces los 27km que tiene el cir-

cuito cerrado, resultaría muy caro y sería inestable. En un acelerador de circuito cerrado se puede dar más empuje a las partículas sin tener que extender la longitud de su recorrido. El límite es la capacidad de hacer girar una partícula cargada a la que se entregó mucha energía. Se necesitan campos magnéticos muy intensos y los que usa el LHC son los más altos alcanzados con la tecnología actual. Una razón más prosaica es que el túnel ya existía: se construyó el mejor acelerador compatible con lo que ya estaba.

¿Hay peligro en explorar las cosas nuevas que se ensayarán?

No se advierte que lo pueda haber. El universo hace constantemente lo que hará el acelerador y no se han visto consecuencias catastróficas. Los rayos cósmicos que llegan a la Tierra y chocan con la materia de la atmósfera superior traen energías mayores, en algunos casos enormemente mayores. La diferencia es que en el acelerador se puede controlar el experimento y analizar con detalle lo producido.



WWW.DIEGONORRASS.COM

PEPE ELIASCHEV

SIGNIFICADOS, RAZONES,
COMPROMISOS



Sábado 22.30 hrs.

CableVisión 2 Multicanal 2 TeleCentro 3 DirectTV 728

Columnas, entrevistas y artículos en www.pepeeliashev.com.
Editoriales en los podcasts de www.perfil.com.

Oficina comercial: 011-4815-8621

san. La inercia o resistencia al desplazamiento que deben vencer puede verse como una suerte de masa inercial, lo que explica el surgimiento de la masa de las partículas. Pero sin el campo de Higgs, no habría masa, por lo que encontrarlo a cualquier costo es poco menos que imprescindible.

A partir de los resultados de los experimentos realizados con el LHC, que, por su cantidad demandarán años de análisis, es posible que surjan partículas desconocidas hasta hoy, que esclarezcan fenómenos aún inexplicados, como la llamada materia oscura que abunda en el universo; o que se descubran nuevas interacciones, como la llamada supersimetría. Además, y si la larga historia de la experimentación en física sirve de guía, todos estamos seguros, o por lo menos esperanzados, de que también habrá descubrimientos inesperados. Estos suelen ser los más interesantes.

Volviendo ahora al inicio de esta nota a la luz de la explicación anterior, ¿para qué, finalmente, se invierten tanto dinero y esfuerzo en intentar responder a las preguntas formuladas en el primer párrafo? Las respuestas son dos, a las que diferentes personas asignan distinta importancia. La primera es: porque desde que hay seres humanos en la Tierra ellos se afanan por conocerse a sí mismos y por conocer la índole y las características del mundo que habitan. Milenios de historia solo han reforzado ese afán.

La segunda respuesta es: porque toda la tecnología creada por la humanidad, antigua y moderna, solo fue posible por haberse adquirido conocimiento básico del mundo material o la naturaleza. En los tiempos actuales, el avance tecnológico requiere la continua ampliación y profundización de ese conocimiento básico.

Así de sencillo. **CH**

LECTURAS SUGERIDAS

GANGUI A y PETER P, 1999, 'Cuerdas cósmicas conductoras', *Investigación y Ciencia*, 274:74-83, julio. Accesible en <http://cms.iafe.uba.ar/gangui/CCC.html>.

HIGGS PW, 1964, 'Broken symmetries and the masses of gauge bosons', *Physical Review Letters*, 13:508-509. Accesible en http://prola.aps.org/abstract/PRL/v13/i16/p508_1.

PETER P y GANGUI A, 2003, *Des défauts dans l'Univers: cordes cosmiques et autres trous de l'espace-temps*, CNRS Éditions, París.



Alejandro Gangui

Doctor en astrofísica, Escuela Internacional de Estudios Avanzados (*International School for Advanced Studies*), Trieste, Italia.

Investigador adjunto del CONICET. Profesor de la FCEYN, UBA.

Miembro del Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias, FCEYN, UBA.

gangui@df.uba.ar

cms.iafe.uba.ar/gangui