

CIENCIA

# Lo que hallaremos dentro del átomo

Por LEON LEDERMAN

**E**L TELESCOPIO QUE CONSTRUYERA GALILEO A FINES DEL SIGLO XVI tenía la potencia de amplificación de cualquier par de binoculares baratos a la venta en el supermercado y no obstante, bastó para abrir un nuevo mundo. Con aquel sencillo instrumento, Galileo pudo ver que Júpiter tiene cuatro lunas y que hay manchas en el Sol, lo cual le llevó a la conclusión de que nuestra estrella giraba. Pero lo más espectacular: su hallazgo de que el planeta Venus tiene fases, una prueba contundente de que la percepción copernicana de nuestro sistema solar, es decir, de que el Sol, y no la Tierra, ocupa el centro, era correcta. Conforme la humanidad comenzó a construir mejores telescopios, el conocimiento de este hermoso y complejo nuevo mundo del cosmos ha evolucionado, haciendo que nos percatemos de un extenso universo repleto de objetos extraños (pulsares, quasares, agujeros negros) y que habitamos un punto insignificante dentro de una galaxia de miles de millones de estrellas que arrastran sus propios sistemas solares.

Gracias a unas cuantas modificaciones técnicas, el telescopio comenzó a enfocar el interior del universo de lo pequeño. Con el advenimiento del microscopio descubrimos el vasto y abigarrado mundo de microbios tan pequeños que miles de ellos cabrían sin la menor dificultad en el punto final de esta oración. A la larga, ese mundo abarcó

ILUSTRACIONES POR LAUREN REDNISS PARA NEWSWEEK

también la genética, la microbiología, la virología y mundos inimaginables y por demás singulares que son centenares de veces más pequeños que los microbios: ¡los átomos! Para explicar el comportamiento de los átomos, la comunidad científica tuvo que inventar la teoría cuántica, la cual dio origen a los semiconductores y un sinnúmero de tecnologías que impulsaron el grueso de la actividad económica del siglo XX. Así de poderoso es un buen instrumento. Y dado que la mayor parte de la naturaleza consiste en objetos demasiado pequeños, lejanos o sutiles para percibirlos a simple vista, los adelantos científicos siempre se han apoyado en el invento de nuevas y mejores herramientas. Hoy día, el mundo científico es testigo del nacimiento de un nuevo instrumento, el Gran Colisionador de Hadrones (LHC, por sus siglas en inglés), que no es cualquier binocular barato. De hecho, se espera que permita amplificar las propiedades

regalar a la humanidad en el siglo XXI. ¿Qué tipo de universo? Cinco siglos de retrospectiva permiten enumerar las implicaciones del telescopio de Galileo, mas no tenemos esa posibilidad con el LHC. En vista del conocimiento actual y la combinación de los numerosos mundos que nos han revelado las distintas herramientas e instrumentos contruidos desde los tiempos de Galileo, ¿cabe anticipar grandes sorpresas con el LHC?

Más vale, porque en esta era de presupuestos limitados, el LHC —colaboración internacional de miles de científicos, ingenieros y estudiantes— ha tenido un costo de US\$ 8,000 millones que incluyen facturas importantes para los presupuestos nacionales. A fin de entender las consecuencias que el LHC podría tener en las próximas décadas, hay que dar un vistazo a las interrogantes básicas que justificaron su construcción. Sólo si nos adentramos un poco en el laberinto de la física de

mente pequeño. También en ese momento, dos dominios completamente opuestos —el espacio interior de la física de partículas revelado por las herramientas microscópicas (en esencia, los aceleradores de partículas) y el espacio exterior de la cosmología y la astrofísica, conocido gracias a los datos de telescopios terrestres y espaciales, como el Hubble— eran uno mismo. Sin embargo, al tiempo que el naciente universo comenzó a expandirse y enfriarse formando estrellas y galaxias, el reino de lo pequeño y lo grande se escindió, y así comenzaron a complicarse las cosas.

Para desentrañar los principios subyacentes al universo, hay que retroceder al momento del Big Bang y realizar algunos experimentos. Por desgracia, eso es tan fácil como entrevistar a Isaac Newton o Alejandro Magno. Así que la mejor alternativa es el LHC, que nos permitirá reproducir algunas de las condiciones de los primeros instantes del universo. No todas al mismo tiempo, claro está, pero sí lo suficiente para que entendamos un poco mejor los procesos por los cuales chocaron y se fusionaron las primeras partículas primordiales formando los núcleos y átomos que conforman nuestro sol y sus planetas. Los físicos teóricos hacen deducciones con base en los colisionadores y entretienen una historia sobre la forma como los componentes más pequeños de la materia conspiraron para producir los objetos celestiales más exóticos (léase agujeros negros, pulsares, explosiones estelares y demás). Con la recreación de las condiciones del universo momentos después del Big Bang, el LHC nos ayudará a desarrollar una descripción coherente del universo.

Sería mucho más sencillo explicar el estado actual de la física si tuviéramos una visión coherente, pero no la hay. Y por ello es necesario analizar interrogantes que la construcción del LHC pretende responder; cada una de ellas, parte de un enorme rompecabezas. Conforme repasemos las preguntas, empezará a tener sentido el rompecabezas.

**¿Por qué hay tantas partículas?** Hasta hoy, colisionadores como Tevatron de Fermilab, Chicago o el colisionador e+e- de CERN (ambos mucho más pequeños que el LHC) han dado pruebas de que los átomos no son las partículas más pequeñas y básicas del universo. Hoy se confiere ese honor a partículas aún más diminutas llamadas quarks y leptones (incluso han postulado que toda la materia está compuesta de seis tipos de quarks y seis variedades de leptones). Pero esto es sólo el comienzo, porque también hay neutrinos, muones y partículas W, Z y muchas más.

¿A qué se debe tal complejidad? El inagotable optimismo de los físicos teóricos les ha conducido a la convicción de que, debajo de esta desalentadora complejidad, se oculta una hermosa simplicidad y sus esperanzas se

## ¿Qué verán los científicos con el LHC? La máquina bien podría revelar un nuevo mundo, regalo para el siglo XXI.

de los objetos por el factor más grande en la historia de la física de partículas (según diversos cálculos, alrededor de 500 veces más de lo que ha sido posible hasta el momento). El LHC es un acelerador de partículas: un monstruoso túnel subterráneo con un radio de 4.3 kilómetros instalado en CERN, la Organización Europea para Investigación Nuclear, situada en la frontera franco-suiza, cerca de Ginebra. En el interior del túnel hay potentes imanes superconductores que impulsan protones alrededor de un anillo donde un enorme voltaje los acelera hasta adquirir una sorprendente cantidad de energía: siete billones de electronvoltios en su máxima aceleración. Próximamente, conforme los técnicos hagan funcionar la colosal maquinaria, harán chocar protones de alta energía haciendo que se fracturen en miles de partículas más pequeñas cuyas vidas, breves y violentas, quedarán registradas en detectores cercanos. Aunque no es el primer colisionador de la historia, el LHC es el primero que alcanza semejante energía. Esto significa que las colisiones que ocurran en su interior serán mucho más violentas, y tendrá la capacidad de producir 100 veces más colisiones por segundo que cualquier otro colisionador.

Igual que el telescopio de Galileo, el LHC brindará a los científicos información sobre el nuevo mundo de lo muy pequeño e indirectamente, de lo muy grande. ¿Qué verán con el LHC? El alcance y la sensibilidad del aparato bien podría desvelar un nuevo universo que

las partículas podremos tener una idea de la profundidad con que esta herramienta atisbará el interior de la naturaleza del mundo físico.

La complejidad ha sido la peor pesadilla de los físicos modernos. Cuanto más cerca miramos, más complejo e inmanejable se vuelve el mundo físico. Durante buena parte del último siglo, los físicos han tratado de encontrar alguna teoría sencilla y hermosa y descubierto, a cambio, que el universo es una proliferación de partículas y una maraña de fuerzas que no parecen encajar de manera coherente. Es como tener un control remoto para el televisor, otro para el DVD y entonces aparece el DVR con uno más. Lo que necesitamos es un control remoto universal y de fácil operación; en el terreno de la física esto equivale a una teoría para todo. Nadie pretende que el LHC pueda ofrecer, mágicamente, una teoría universal, pero al menos se espera que ayude a poner un poco de orden.

El LHC nos brindará simplicidad haciéndonos retroceder a los inicios. Nos permitirá vislumbrar el universo en el momento mismo de su concepción y esto es importante, porque las cosas eran mucho más sencillas en aquellos tiempos. La única teoría viable (hasta ahora) es que el universo nació hace 13.7 mil millones de años debido a una explosión cósmica, conocida como el Big Bang, la cual creó el tiempo y el espacio. En aquel primer instante, todo lo que conocemos hoy —toda la materia y la energía que jamás existirían— quedó comprimido en un volumen inconcebible-

nutren del papel que juega el concepto de simetría cuando se realiza un análisis matemático de las ideas teóricas. Un calidoscopio muestra patrones de intrigante complejidad, pero pueden explicarse mediante un sencillo patrón y un sistema de espejos. De allí que los científicos cifren sus esperanzas en que el LHC les permita ver un patrón simple que emerge de la confusión de espejos.

**¿Qué mantiene unido al universo?** La gravedad es la fuerza que nos permite caminar en el suelo, pero no es más que una de cuatro que operan en el universo. Otra es el electromagnetismo, que conoce cualquier escolar que haya creado un electroimán retorciendo un alambre en un clavo y conectando los extremos a una batería. La función crítica del electromagnetismo es lo que permite la unión de quarks y leptones para formar átomos, y la combinación de átomos es lo que da origen a las moléculas. La tarea del átomo se facilita por la existencia de dos fuerzas adicionales: la "fuerte" y la "débil", que actúan en el nivel del núcleo atómico. Ahora bien, lo que enloquece a los científicos es que las cuatro fuerzas no se mezclan: han podido desarrollar teorías que conectan todo, menos la gravedad. Hay una teoría de fuerzas electromagnéticas que permiten hacer predicciones muy exitosas. Del mismo modo, existe la teoría de la fuerza débil y la muy satisfactoria teoría de la fuerza fuerte. Lo que hace falta, a todas luces, es una teoría que unifique las tres fuerzas e incluya también la gravedad (la muy buscada, pero mal llamada, teoría del todo). Aunque la gravedad es un hecho cotidiano incontestable para cualquier profano, el asunto es motivo de profundo agravio para el físico teórico. Mientras que las otras tres fuerzas (fuerte, débil y electromagnética) tienen, aparentemente, un origen común, la gravedad da al traste con todo.

Para entender lo frustrante de la gravedad debemos adentrarnos en el laberinto. Según la teoría cuántica, la fuerza entre dos objetos (de atracción o repulsión) requiere del intercambio de una partícula "portadora de fuerzas". Imagine a dos patinadores en hielo jugando a la pelota. Cuando uno lanza la pelota, se aparta del otro. Cuando el segundo atrapa la pelota, se aleja del primero. Lo mismo ocurre con la atracción: ahora, los dos patinadores están parados de espaldas mirando hacia sendos muros. Uno lanza con fuerza una pelota suave y elástica hacia lo alto de su pared. El esférico rebota hacia el muro del otro y cae en su mano. ¡Sorpresa! ¡Ahora se acercan!

La pelota (partícula portadora de fuerza) se denomina bosón y hay un bosón para cada tipo de fuerza. Los experimentadores que trabajan con pequeños colisionadores han descubierto la presencia de bosones que transportan la poderosa fuerza entre quarks, partículas eléctricamente cargadas y la fuerza débil. Sin

embargo, el portador de fuerzas de la gravedad, partícula denominada gravitón, es completamente distinto. En este caso, los aceleradores de partículas son inútiles porque la fuerza de gravedad es increíblemente débil. Haga la prueba: deje caer un broche para papel. El objeto cae atraído por todo el planeta. Ahora, sujete el broche para papel con el imán con que adhiere la lista del mercado al refrigerador. La atracción de toda la Tierra es insuficiente para vencer al pequeño imán. Quienes han probado la fuerza de gravedad contra la fuerza eléctrica, han observado que es más débil por un factor de uno seguido de 40 ceros.

¿El LHC es lo bastante poderoso para producir un gravitón? No. Para ello haría falta un colisionador mucho más grande. No obstante, confiamos en que el LHC nos permita entender mejor la teoría de la gravedad de Einstein, aunque habrá de hacerse de manera indirecta. Es decir, tendremos que observar muchos otros fenómenos y hacer inferencias sobre la gravedad.

## Aunque la máquina apenas empieza a realizar su función, su verdadera precisión será evidente hasta dentro de unos años

**¿Cuál es la partícula Dios o divina?** Una manera de atisbar en el calidoscopio cósmico sería observar un tipo de bosón específico llamado Higgs. Recuerde que un bosón es una partícula relacionada con una fuerza. El bosón Higgs representa la masa de otras partículas. Visualice al Higgs como una extensión de fango. Cuando camina en el barro, se mueve más despacio, como si su peso hubiera aumentado. Del mismo modo, la presencia de un bosón Higgs haría que la partícula fuera más pesada. Por motivos demasiado complejos para explicarlos aquí, el Higgs se encuentra dentro del campo de LHC, así que es factible que lo descubramos muy pronto. Y su hallazgo servirá para desvelar muchos misterios. Es por eso que algunas personas han dado en llamarlo la partícula Dios o divina.

Al preguntar a cualquier físico por qué era necesario construir el LHC, la respuesta invariablemente será: "¡Higgs!". Este tema ha estado en circulación desde hace décadas y su poder para llamar la atención de experimentalistas, así como de los líderes de Estados Unidos, Europa y Japón, es impresionante. Higgs encabeza la lista de motivaciones para construir costosos aceleradores de partículas. Y ésta es la razón: Higgs podría ser el origen de la complejidad de nuestra gama de partículas y fuerzas. Llamémoslo el campo Higgs (como dije antes, barro) y digamos que

impregna todo el espacio. Sin el campo Higgs, las quarks y los leptones se unirían y los físicos teóricos tendrían que buscar empleo en otra parte. Pero con el campo Higgs en escena, las partículas caminan pesadamente en el fango: los electrones adquieren un poco de masa, los muones reciben un poco más, el quark belleza se vuelve muy pesado y el quark tope resulta francamente obeso. La masa de las partículas denominadas W y Z aumenta enormemente, en tanto que el fotón simplemente ignora el campo Higgs. Pero aquí, las matemáticas adquieren gran complejidad, vuelven a surgir las cuatro fuerzas... y los teóricos tienen asegurado el trabajo.

Higgs es indispensable para desentrañar el "sistema de espejos" de nuestro ejemplo del calidoscopio y también cura algo de la patología matemática. Los principales aceleradores se han utilizado en intensas aunque infructuosas búsquedas del Higgs, pero sin duda surgirá alguna prueba definitiva de este fenómeno con las primeras investigaciones con el LHC.

**¿Cuál es la utilidad de un colisionador para resolver estos misterios?** El LHC fue construido para provocar colisiones entre partículas y brindar a los físicos una imagen de los despojos resultantes. Las partículas, como hemos aprendido a partir de la teoría cuántica, están relacionadas con campos de fuerza, esto significa que si usted encuentra una partícula (como el bosón Higgs) habrá encontrado también el campo de fuerza relacionado (el campo Higgs). Si el nivel de energía del colisionador es suficientemente alto (como el del LHC, por ahora), las colisiones producirán partículas mucho más masivas y esto incrementa la probabilidad de que, entre los millones de colisiones provocadas en cada segundo, el LHC produzca un bosón Higgs que será identificado por detectores conectados a poderosas computadoras y provocará estruendosos vítores en la sala de control. Si el fenómeno se repite 10 o 20 veces, ¡el mundo entero se regocijará! Fue así como se descubrieron todas las partículas conocidas (quarks, leptones y bosones) utilizando los aceleradores de partículas más antiguos. La relevancia del LHC es que su energía es lo bastante elevada para producir el bosón Higgs.

Pero, la búsqueda de la unificación no concluye con el Higgs. Uno de los signos más reveladores de la unificadora "teoría del todo" sería algo que denominamos supersimetría:

una teoría matemática que sugiera que todas las partículas conocidas (quarks y leptones) tienen gemelos. Ninguno de tales gemelos ha sido descubierto hasta ahora (aunque eso no ha impedido que les impongamos nombres poéticos, como squarks y sleptones), y el LHC podría cambiar la situación.

Regresemos al momento ocurrido hace 13.7 mil millones de años, cuando todo el espacio y su contenido ocupaban un volumen de casi cero. Desde entonces, el universo se ha expandido; todas las galaxias se alejan unas de otras. Pero la gravedad es atractiva y hace que las galaxias se acerquen, lo cual debería frenar la expansión. En 1998, dos grupos de experimentadores trataron de medir el ritmo con el cual está desacelerándose la expansión universal, pero su respuesta fue pasmosa: la expansión no se detenía; todo lo contrario, ¡se aceleraba! Por consiguiente, algo debía intervenir misteriosamente para empujar la materia hacia el exterior. Es lo que llamamos energía oscura, quizás uno de los descubrimientos más desconcertantes e importantes en torno del universo. Cuando calculamos la cantidad de energía necesaria para que las galaxias se alejen unas de otras, la cifra es colosal: equivale a 75 por ciento de toda la energía del universo.

**¿Cómo contribuirá el LHC para identificar la energía oscura?**

La energía oscura tiene una propiedad muy superior a la de simplemente pasar a los astrofísicos. La energía oscura se suma a la cantidad de energía total del universo, la cual compensa la curvatura provocada por la materia (Einstein nos dijo que la materia hace que el espacio se curve, pero si se logra el equilibrio entre energía y materia se pierde la curvatura y el universo se vuelve plano). Empero, como otros tipos de energía, la energía oscura quizá tenga una partícula asociada: una "partícula de energía oscura" y como el LHC fue diseñado para buscar partículas, es concebible que encuentre una partícula de energía oscura (si la hay).

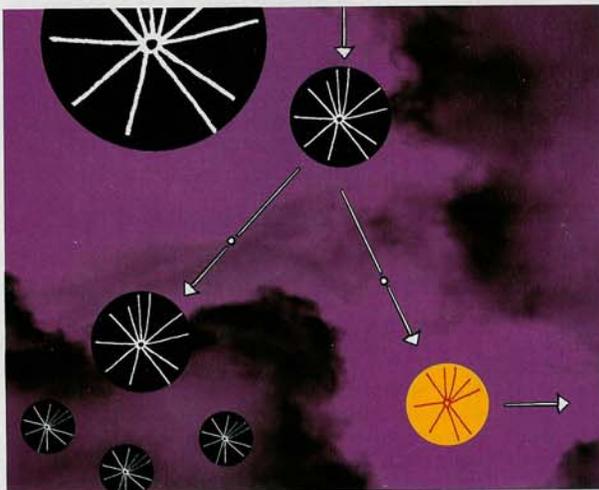
Existe otro misterio sin resolver en cuanto al movimiento de las galaxias y las estrellas dentro de las galaxias. Cuando los astrónomos calculan cuántas galaxias y estrellas deberían moverse según las leyes de gravedad, encuentran que sus ecuaciones producen resultados equivocados.

La observación demuestra que las estrellas y las galaxias se comportan como si hubiera más materia en la galaxia de la que es posible deducir contando estrellas (calculando por

experiencia la masa de cada estrella y sumando sus totales). A fin de comprender la estabilidad de las estrellas de una galaxia, debemos presuponer que hay 10 veces más materia que la observada. ¿Qué puede ocasionar esta discrepancia? La conclusión es que las galaxias están rodeadas de nubes de materia que ejercen fuerzas gravitacionales, pero como esa materia no brilla la llamamos materia oscura.

**¿De qué está compuesta la materia oscura?**

Han postulado muchos candidatos. ¿Podrían ser pequeñas estrellas muertas que no emiten luz? ¿Agujeros negros? ¿Planetas enormes? Hasta ahora se desconoce el origen de la materia oscura. No obstante, de no ser por la



materia oscura, no se habrían formado las galaxias y no existiríamos. De ser cierta, la teoría de la supersimetría vaticina la existencia de un increíble número de partículas nuevas, gemelas de los quarks, leptones y bosones que ya conocemos, incluidos algunos candidatos excelentes para la materia oscura, todo lo cual podría reflejarse en el análisis de las colisiones del LHC.

**¿En dónde quedó la antimateria?** En la década de 1930, los teóricos predijeron que cada partícula cargada tenía un gemelo de antimateria: el electrón tiene un positrón; el protón, un antiprotón. No obstante, en nuestras galaxias y hasta los rincones que alcanzan nuestras maravillosas herramientas, lo único que podemos ver es materia y su ausencia se atribuye a una ligera asimetría: cuando se creó el universo, había un poco más de materia que de antimateria. Cuando materia y antimateria chocan entre sí, se aniquilan mutuamente y producen fotones, o partículas de luz. En consecuencia, toda la antimateria es "consumida" por la materia y el residuo es materia pura y luz. La naturaleza de la asimetría no ha sido

explicada en su totalidad, pero el LHC bien podría ayudarnos a entenderla.

**¿Existen más de cuatro dimensiones (tres de espacio y una de tiempo)?**

Una de las posibilidades más emocionantes del uso de LHC es el descubrimiento de lo que llamamos dimensiones espaciales adicionales que van más allá de las conocidas amplitud, profundidad y altura. Las dimensiones adicionales son uno de los fundamentos de la teoría de cuerdas, una de las especulaciones científicas más apasionantes y un enfoque que contribuye a entender la manera de unificar la gravedad con las fuerzas restantes. Dicha teoría propone que el mundo está formado de minúsculas cuerdas vibrátiles y que sus vibraciones son las partículas que hemos analizado hasta aquí (si no entiende, no se preocupe: poca gente puede meterse en la cabeza la teoría de cuerdas). La existencia de dimensiones adicionales es una de las predicciones más impactantes de la teoría de cuerdas. En su mayoría, esas dimensiones están tan estrechamente vinculadas que son imposibles de observar. Según algunas versiones de la teoría, la energía gravitacional se "fuga" de nuestro sistema tridimensional hacia esas dimensiones ocultas y proporciona un mecanismo para la debilidad de la fuerza de gravedad. Con LHC podríamos

descubrir esas dimensiones adicionales ocultas estudiando las reacciones en que la energía parece desaparecer (la energía se desplaza por dimensiones que no podemos percibir). Tal descubrimiento alentaría sobremanera a los teóricos de cuerdas (de acuerdo, no todos los descubrimientos son beneficiosos).

Este breve resumen ni siquiera abarca un mínimo de las expectativas cifradas en el LHC para resolver el acertijo del universo. Aunque la máquina apenas empieza a realizar su función, la verdadera precisión del "telescopio" LHC será evidente hasta dentro de unos años y su magia se pondrá de manifiesto, en todo su esplendor, hacia el año 2020. No cabe duda de que tendremos las respuestas a preguntas que sabemos formular y si hemos de guiarnos por la historia, también hallaremos respuesta a interrogantes que jamás nos cruzaron por la cabeza. Igual que ocurriría con el telescopio de Galileo.

*LEDERMAN recibió el Premio Nobel 1998 por su trabajo en física de partículas. Hoy es residente de la Academia de Matemáticas y Ciencias de Illinois, escuela de enseñanza secundaria para alumnos dotados.*

# Predecir el destino de los misterios

## Nuestra respuesta a las pirámides

FRANK WILCZEK *MIT, Premio Nobel (2004)*

**C**OMO PROYECTO, ES MAGNÍFICO, ME GUSTARÍA DECIR que es la respuesta de nuestra civilización a las pirámides de Egipto, pero mucho mejor porque es conducida por la curiosidad más que por la superstición, y construida en colaboración, no por una orden. La escala no es solamente vanidad, todo tiene que ser tan grande como lo es. Pero no es solamente en tamaño físico; es extremadamente sofisticada, extremadamente delicada. Es probablemente lo más complejo que hemos hecho jamás, nosotros siendo la humanidad.

Nosotros tenemos ahora una teoría bien establecida, altamente probada y premiada con el Nobel de la débil interacción que se basa en un concepto que nunca ha sido probado directamente. El concepto es que el universo es una especie de superconductor cósmico, no para electricidad sino para cargas débiles: lo que parece como espacio vacío lo es todo menos vacío. Otra manera de decirlo es que estamos viviendo en una especie de océano, rodeados por... algo. Pero nunca hemos aislado una molécula de agua; nosotros no sabemos en qué consiste el océano. El LHC [el Gran Colisionador de Hadrones, en Ginebra] descubrirá qué es eso. Ese es un logro mínimo.

Pero yo espero mucho más. Tenemos la descripción del mundo que es potencialmente magnífica y hermosa, en parte, pero que le faltan piezas. Tenemos cuatro fuerzas fundamentales: fuerte, débil, electromagnético y gravedad, y adorables ideas sobre como unirlos. Y cuando usted trata de seguir esa inspiración, encuentra que muchas cosas funcionan muy bien, pero no operan realmente a detalle, a menos de que usted expanda la ecuación para incluir más cosas. Parte de esas cosas deben estar dentro del rango del LHC. Así que las ideas sobre la unificación, que tienen el nombre de supersimetría, están realmente en juego. Tendremos una descripción mucho más unificada del mundo de la que teníamos antes, muchas más partículas con las cuales jugar [cuyas] propiedades serán una ventana hacia una vasta física nueva, todo un mundo nuevo de comportamiento fundamental.

Si toma las partículas que tiene y extrapola su comportamiento conocido, se topa con contradicciones, empieza a contradecir los principios básicos de la mecánica cuántica o el sentido común. Tiene que existir una desviación de cierta clase de las leyes que tenemos en la actualidad cuando usted va hacia la alta energía: si no hay una nueva partícula, entonces necesitaremos leyes diferentes. Eso sería tal vez aún más profundo que encontrar nuevas partículas, si tenemos que ceder la mecánica cuántica o cambiar lo que queremos decir por las leyes. Así que encontrar nuevas partículas es mucho más conservador que lo alternativo. Tenemos que olvidar mucho de lo que sabemos.

*Estos pasajes son extractos de entrevistas realizadas por Lily Huang, Andrew Bast, Sophie Grove y Ana Azpurua.*

## Habrá menos espacio para la religión

STEVEN WEINBERG *Universidad de Texas, Premio Nobel (1979)*

**C**ONFORME LO EXPLICA LA CIENCIA CADA VEZ MÁS Y MÁS, existe cada vez menos y menos necesidad para las explicaciones religiosas. Originalmente, en la historia de los seres humanos, todo era misterioso. Fuego, lluvia, nacimiento, muerte, todo parecía requerir la acción de cierta clase de ser divino. Conforme pasa el tiempo, lo hemos explicado más y más en una forma puramente naturalista. Esto no contradice la religión, pero elimina una de las motivaciones originales para ella.

Si nosotros conjuntamos algo como una teoría final en la cual se expliquen todas las fuerzas y las partículas, y esa teoría también ilumina el origen del *big bang* y nos da una imagen consistente de cosmología, habrá un poco menos que explique la religión. Pero la religión evolucionó junto con la ciencia. Es algo creado por los seres humanos y conforme los seres humanos aprenden más, su religión cambia. Hoy, especialmente en las sectas religiosas más establecidas de Occidente, han aprendido a dejar de explicar la naturaleza de manera religiosa y dejan eso a la ciencia.

Cuanto más descubrimos del universo, menos son las señales que vemos de un diseñador inteligente. Isaac Newton pensó que una explicación de cómo brilló el sol tendría que hacerse en términos de la acción de Dios. Ahora sabemos que el sol brilla debido al calor producido por la conversión de hidrógeno en helio en su centro. La gente que espera encontrar evidencia de una acción divina en la naturaleza, en el origen del universo o en las leyes que gobiernan la materia probablemente se va a decepcionar.

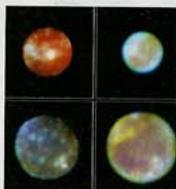
Lo que será completamente satisfactorio será mostrar que sólo hay una clase de naturaleza que fue lógicamente posible y que se deriva de sus propias leyes en la misma forma que nosotros derivamos los principios de aritmética. No creo que eso será posible, porque ya podemos imaginar leyes lógicamente consistentes de la naturaleza que no describen exactamente el mundo que vemos. Siempre estaremos de alguna manera decepcionados. Pero la gente que cree en Dios tiene el mismo problema. Ellos nunca podrán entender por qué el dios en el que creen es de esa manera y no de otra. Todos los seres humanos, religiosos o no, están atrapados en la situación trágica de no ser capaces nunca de entender completamente el mundo en que estamos.

Yo no creo en Dios, pero no hago una religión de no creer en Dios. Es lógicamente posible que algo pueda ser descubierto que me haga cambiar de idea y será interesante ver si eso ocurre. Pero no lo espero. Siempre es posible que descubramos algo en la naturaleza que no puede ser explicado en una forma naturalista a la que nos hemos acostumbrado en la ciencia y que realmente requerirá de intervención divina. Eso no ha ocurrido. Yo no conozco a alguna persona religiosa que diga que el rompimiento de la simetría entre las interacciones débiles y las electromagnéticas requiere de intervención divina. Descubrir el Bosón de Higgs, o confirmar la teoría del rompimiento de la simetría electrodébil, no va a alterar la religión de la gente.

## Conducir el gran experimento

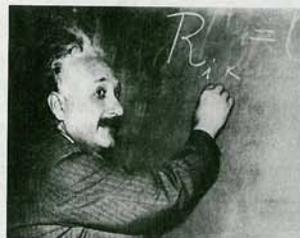
1609, Galileo

Galileo mejora los primeros telescopios y descubre las cuatro lunas de Júpiter, manchas en el Sol, y ayuda a invalidar la idea de que la Tierra era el centro del Universo



1921,  $E=mc^2$

Albert Einstein recibe el Premio Nobel por su teoría general de la relatividad, que explicaba el movimiento en el continuo espacio-tiempo



1929, Ciclotrón

Ernest Lawrence construye el primer acelerador de partículas, de sólo 10 centímetros de diámetro



1687, Gravedad

Sir Isaac Newton publica su teoría de la gravedad universal y las leyes de movimiento en su libro de gran influencia, "Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica".



1927, Explosión

Georges Lemaitre propone un modelo del nacimiento del universo, que luego atrajo el despectivo apodo de la "teoría del big bang"

1929, Hubble

El astrónomo Edwin Hubble observa que las galaxias más allá de la Vía Láctea en realidad se están separando una de la otra a velocidad increíble



## Posible evidencia de una cuarta dimensión

BRIAN GREENE *Universidad Columbia, teórico de cuerdas*

**L**A PERSPICACIA EN LA QUE ESTAMOS MÁS CONFIADOS O esperanzados es la supersimetría. Es algo compleja para describir a detalle, pero puedo describir una implicación: por cada especie de partícula conocida en el mundo: electrones, quarks, etcétera, debemos ver una partícula socia que aún no se ha descubierto. Encontramos esta posibilidad emocionante porque la supersimetría es una cualidad intrínseca de la teoría de cuerdas. Si descubre la supersimetría, no demuestra que la teoría de cuerdas sea correcta, pero si demuestra que uno de sus atributos centrales es correcto.

Lo que Einstein hizo con la relatividad general, en términos de su papel en la física teórica, fue darnos una comprensión de ciertas simetrías o cualidades de espacio y tiempo. La supersimetría en esencia es llevar esto al siguiente nivel. Si la supersimetría es correcta, nos está diciendo que el espacio y el tiempo tienen cualidades que Einstein no podía haber soñado pero que encajan de forma natural en la misma progresión que él empezó. Existen otras cosas más allá de la supersimetría que de nuevo se vincularían en Einstein en una forma profunda que también podrían encontrarse.

El LHC puede proporcionar evidencia de más de tres dimensiones de espacio. Una de las maneras en que hemos formulado la teoría de cuerdas en los últimos cinco o 10 años sugiere que lo siguiente podría ocurrir en el LHC. Lo que ocurre allí es que usted incrusta un protón contra otro protón que viaja en dirección opuesta a la velocidad de la luz. Y hay literalmente billones de protones moviéndose alrededor del LHC a algo como 11,000 veces por segundo. Y luego usted tiene estas colisiones. Lo que podría haber ocurrido es que habrá ciertos desechos creados en la colisión que se lanzan fuera de nuestras tres dimensiones de espacio hacia un espacio dimensional más alto, dimensiones a las cuales no tenemos acceso directo. ¿Cómo observaría eso? Si algún deshecho es rechazado, llevará con él cierta energía, lo que significa que si usted mide la energía justo antes de que los protones choquen y mide lo que queda justo después, debe tener un poco menos al final de lo

que tenía al principio. Esa sería evidencia indirecta de que la energía se ha perdido en más dimensiones.

[El seguimiento al LHC] ya está siendo planeado: el Colisionador Lineal Internacional (ILC). Usted puede pensar acerca del LHC como un microscopio muy poderoso, pero probablemente revele justamente las características totales de la nueva física. El ILC es una máquina de un diseño diferente que tiene la capacidad para entonces tomar el mapa total que puede proporcionar el LHC y empezar a moverse realmente por los pequeños callejones y las encantadoras avenidas, para explorar realmente el terreno con la clase de detalle y precisión que no puede el LHC. Digamos que algunas nuevas partículas son descubiertas en el LHC. El ILC tendría la capacidad de estudiar las propiedades muy finamente detalladas de aquellas partículas, para producir las copiosamente y entender con gran precisión su masa, carga de electrón, interacciones, cosas de esa clase, que el LHC puede ser capaz de decir en líneas generales. El ILC es uno que realmente puede llegar allá y describir las propiedades con precisión fantástica.

## No, no se tragará a la Tierra

STEPHEN HAWKING *Universidad de Cambridge, matemático*

**E**L GRAN COLISIONADOR DE HADRONES NOS PERMITIRÁ estudiar las colisiones de partículas a energías tres veces mayores que los anteriores aceleradores de partículas. Podemos adivinar lo que esto revelará, pero nuestra experiencia ha sido que cuando abrimos un nuevo campo de observaciones, con frecuencia descubrimos algo que no esperábamos. Es entonces cuando la física se vuelve en verdad emocionante, porque estamos aprendiendo algo nuevo acerca del universo.

El LHC es parte de un esfuerzo internacional para revelar los secretos del universo. Costó cerca de US\$10 mil millones durante cuatro años, lo que suena mucho, pero que es solamente 0.005 por ciento del producto interno bruto mundial durante ese período. ¿Podemos permitirnos dos centésimos de uno por ciento para entender el universo?



### 1945, La bomba atómica

Las primeras armas nucleares, creadas por un equipo de físicos que trabajaban para EE UU, son detonadas sobre Hiroshima y Nagasaki

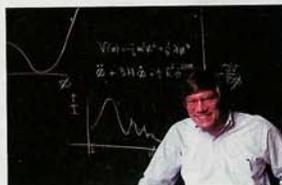


### 1988, Best-seller

Habiendo descubierto Hawking la radiación en los hoyos negros, entre otros trabajos científicos, Stephen Hawking publica "A Brief History of Time" (Breve Historia del Tiempo), su primer libro para un público sin conocimientos especializados en el tema

### 1931, Ondas radioeléctricas

Karl Guthe Jansky descubre que hay ondas radioeléctricas cósmicas que emanan desde más allá de nuestro sistema, al construir un telescopio de radio para identificar la estática que interfería con el radioteléfono



### 1981, el Big Bang

Alan Guth propone que la expansión del universo después de la gran explosión se debió a una fuerza gravitacional repelente

### 1993, Túnel a ningún lado

Tras gastar US\$2 mil millones, el Congreso de EE UU cancela el proyecto del Supercolisionador Superconductor en Waxahachie, Texas

Y es absolutamente seguro. Ha habido una historia de terror acerca de que podría crear un diminuto hoyo negro que se tragaría a la Tierra. Pero si las colisiones en el LHC produjeran un microhoyo negro, y esto es poco probable, se evaporaría de nuevo, produciendo un patrón característico de partículas. Las colisiones a estas y mayores energías ocurren millones de veces al día en la atmósfera de la Tierra y nada terrible sucede. El mundo no se acabará cuando se encienda el LHC. El LHC es débil en comparación con lo que pasa en el universo. Si fuera a ocurrir un desastre, ya habría sucedido.

blemente un papel importante en decirnos la dirección en la cual nos debemos mover.

## Piense en ello como el telescopio Hubble

EDWARD WITTEN *Instituto para Estudios Avanzados, teórico de cuerdas*

## Señalar hacia un curso futuro para la física

ALAN GUTH *MIT, cosmólogo*

LO QUE ESTAMOS TRATANDO DE ENTENDER ES LA PRIMERA fracción de un segundo de la historia del universo y cómo la evolución que ocurrió entonces puso al universo en el curso para convertirse en lo que es hoy. La teoría inflacionaria es un giro en la imagen del *big bang* convencional. Lo que cambia es nuestra comprensión de la historia del universo por un período muy corto durante el primer minuto. La teoría modifica la evolución para incluir un breve período durante el cual la gravedad se voltea de cabeza y repele en lugar de atraer. Si la inflación es correcta, este período corto de gravedad que repele es la verdadera gran explosión, en el sentido de que es lo que impulsa al universo hacia su enorme expansión, que todavía estamos viendo en la actualidad.

Pienso que muchos físicos, incluyéndome, sienten que la dirección de la física en los años venideros es muy incierta. Estoy hablando acerca de la ciencia real, no sólo de los recursos. La clave impactante para muchos de nosotros fue el descubrimiento hace 10 años de que el universo se está acelerando. No se esperaba en teoría, al menos no por la mayoría de nosotros, y ha sido muy difícil de entender en el contexto de las teorías que hemos estado utilizando todos estos años. El LHC jugará proba-

EXISTE LA POSIBILIDAD DE QUE ALGO FUERA DESCUBIERTO que no encajara bien con algunas de nuestras ideas. La posibilidad de descubrir dimensiones más altas es posible, pero apenas posible. Si todo está exactamente alineado de forma correcta, es concebible que el LHC pueda hacer eso. La energía parecería desaparecer porque la idea es que, cuando las partículas tienen una energía suficientemente alta, pueden escapar a un mundo dimensional más alto. Si es una posibilidad muy remota obtener evidencia directa de dimensiones extras, es aún más remoto obtener claras indicaciones de un hoyo negro en el LHC.

Lo que realmente hace el LHC es explorar las energías en las cuales la naturaleza de las interacciones débiles puede entenderse. Las fuerzas importantes de la naturaleza son gravedad, la fuerza nuclear (también llamada la interacción fuerte), electromagnetismo e interacciones débiles, que quizá es la fuerza menos familiar para aquellos que no son físicos, responsable de ciertas formas de radiactividad atómica. Las interacciones débiles son una gran pieza del rompecabezas. Son las menos entendidas porque son muy débiles. Es muy misterioso.

Nosotros ya descubrimos las partículas W y Z, que son dos ingredientes importantes en las interacciones débiles. Conjuntando lo que ya sabemos, conocemos la escala de energía a la cual se rompe la simetría de la interacción débil. Y está definitivamente al alcance del LHC. De hecho, el LHC va más allá de eso. Ésa es la gran pregunta que estoy seguro contestará el LHC.

Usted debe pensar en el LHC como algo parecido al telescopio espacial Hubble: está construido para explorar el universo y entenderlo mejor.