



MAX-PLANCK-GESellschaft

Fausto de Goethe quería averiguar por medio de la magia “lo que el mundo contiene en su interior”. La Física actualmente busca develar esta incógnita, al menos en lo que concierna a nuestro mundo material. En sus experimentos, en lugar de fórmulas mágicas utiliza sobrias fórmulas matemáticas y tecnología de punta. Sin embargo, hay algo de mágico en ella: viaja a través de supersimetrías, microagujeros negros o extradimensiones, y habla de quarks, neutrinos o partículas de Higgs.

página 3). Al día de hoy, la física conoce doce **partículas elementales** que, según los conocimientos actuales, no pueden seguir dividiéndose. Las más importantes son el electrón con la carga elemental -1 (representa la carga eléctrica libre más pequeña que existe) y dos quarks, el *up-quark* y el *down-quark*. La carga del *up-quark* es de $+2/3$, mientras que la del *down-quark* es de $-1/3$. Y ahora, a hacer cuentas: dos *up-quarks* y un *down-quark* forman un protón con carga $+1$; dos *down-*

De regreso al Big Bang

Cómo los físicos de partículas viajan a través del tiempo de la mano del LHC

Basándonos en observaciones astronómicas, sabemos que nuestro universo se formó hace cerca de 13.7 mil millones de años en un poderoso estallido inicial. Desde entonces, se expande y se enfría. Es probable que en la fase inicial caliente haya prevalecido otra Física que la actual. Su estudio podría resolver algunos de sus grandes misterios. Uno de ellos es la materia oscura, que se percibe en el cosmos sólo por su gravedad. El sueño sería emprender un viaje de regreso al Big Bang con una máquina de tiempo.

UN ZOOLÓGICO DE PARTÍCULAS

Realmente existen tales máquinas de tiempo: los grandes aceleradores de partículas. Estos dejan que las partículas atómicas choquen violentamente emulando por un breve lapso las mismas condiciones que había en la fase inicial de nuestro universo. A escala de laboratorio, estos choques de partículas no sólo son inofensivos, sino también repetibles en forma controlada. Así, los físicos pueden estudiar exactamente lo que allí ocurre. Para esto, necesitan grandes detectores que actúen como “super microscopios” haciendo visible lo más pequeño. Allí, las fuerzas fundamentales y las partículas elementales construyen la materia **(ver recuadro en**

quarks y un *up-quark*, forman un neutrón con carga 0. Para describir la materia como la conocemos hoy, necesitamos una cuarta partícula: el electrón-neutrino. Éste permite, por ejemplo, un balanceado equilibrio energético y de impulso durante las reacciones de fusión nuclear en el interior del Sol.

Estas cuatro piezas forman la 1era generación de partículas elementales. Antes, cuando el universo era más denso y estaba más caliente, existían otras dos generaciones con cuatro partículas elementales respectivamente. Actualmente, sólo se producen brevemente en experimentos



► **Vista en dirección al eje del haz de partículas al interior del detector ATLAS en plena construcción. Los grandes tubos contienen las bobinas de los potentes imanes que se utilizan para analizar las colisiones de partículas. Mientras tanto, ATLAS se terminó de construir y todo el interior está repleto de instrumentos de medición.**



→ con aceleradores o cuando rayos cósmicos de alta energía impactan sobre moléculas de nuestra atmósfera. Las tres generaciones incluyen los doce componentes de materia elementales del **Modelo Estándar** de la Física de Partículas. Tres de las cuatro **interacciones fundamentales** conocidas hasta hoy se encargan de las "conexiones" entre ellas. De acuerdo con las ideas de la física cuántica, partículas de intercambio virtuales proporcionan estas fuerzas - como el ir y venir de una pelotita de ping-pong. La mayor fuerza la ejerce el gluón (de la voz inglesa *glue* 'pegamento'). Mantiene a los quarks de protones y neutrones en estrecha unión: sólo se pueden liberar en condiciones de energía extremadamente alta, como inmediatamente después del Big Bang. Esta interacción nuclear fuerte también aprisiona a los núcleos atómicos. De esta forma contrarresta la fuerte repulsión de los protones cargados positivamente. Los portadores de la segunda interacción electromagnética menos fuerte son los fotones (cuantos de luz). La tercera es la interacción nuclear débil. Ésta se encarga, por ejemplo, de que durante una desintegración radioactiva β los neutrones se vuelvan protones o viceversa. Sus partículas de intercambio se llaman bosones W y Z.

Sólo la **gravedad** por ahora escapa de una descripción cuántica. Ésta es increíblemente 10^{40} veces más débil que la interacción nuclear fuerte. Sin embargo, ejerce dominio a escala

cósmica. La Teoría General de la Relatividad de Albert Einstein la describe con precisión. Los físicos teóricos han estado luchando durante décadas, para aunar su teoría de "lo grande" con esta teoría de "lo más pequeño", la Teoría Cuántica. En la actualidad hay diversos enfoques, especialmente la teoría de cuerdas y la gravedad cuántica de bucles. Cuál de ellas describe correctamente la naturaleza, si es que alguna realmente lo hace, todavía es un misterio.

PROTONES EN CURSO DE COLISIÓN

El Modelo Estándar de la física de partículas no contempla la gravedad, por lo que seguramente tampoco tiene la última palabra. Además, incluye una pieza de rompecabezas cuya existencia aún no fue probada: el famoso **bosón de Higgs**. Éste es parte de un mecanismo ideado por el físico británico Peter Higgs, que otorgaría masa a las partículas del "mundo cuántico". Averiguar si el bosón de Higgs existe, es lo que pretende hacer el nuevo *Large Hadron Collider* (LHC o Gran Colisionador de Hadrones) - del laboratorio europeo de investigación CERN en Ginebra. Pero sobre todo, el acelerador más poderoso del mundo debiera penetrar profundamente en territorio desconocido, más allá del Modelo Estándar.

Por supuesto que los **hadrones** no son una casta de guerreros de fantasía, sino todas esas partículas que obedecen a la interac-

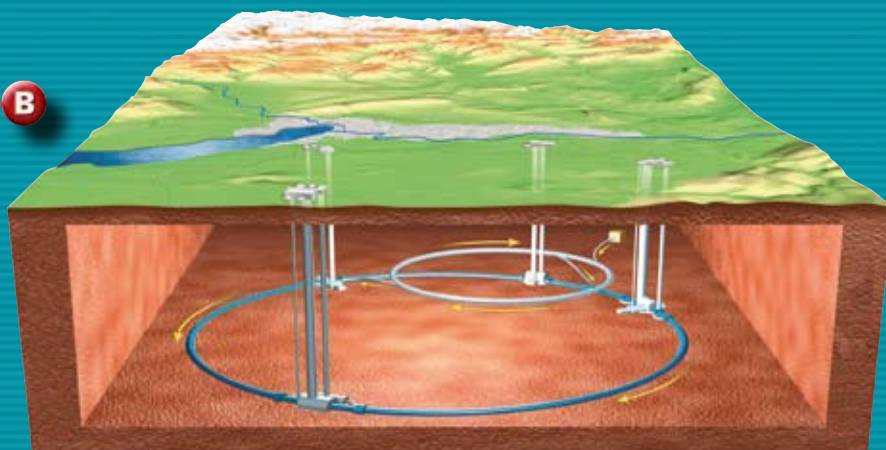
ción nuclear fuerte. El LHC puede hacer colisionar mutuamente dos diferentes tipos de hadrones: ligeros protones y pesados iones de plomo. Los choques de protones permiten un viaje a través del tiempo hasta el momento donde nuestro universo sólo existía hace 10^{-13} segundos, o sea, la billonésima parte de una décima de segundo ¡Aún era extremadamente compacto y tan caliente como 10^{16} grados Kelvin! En comparación, el centro de nuestro sol, con sólo 15 millones de grados Kelvin ($1,5 \times 10^7$ Kelvin) es bastante "fresquito". En ese momento, los quarks apenas comenzaban a formarse. Presumiblemente, hubo sólo una fuerza primaria en lugar de las cuatro fuerzas actuales. En cambio, las colisiones entre iones de plomo nos llevan a un tiempo en donde el cosmos ya contaba con una existencia de una millonésima parte de segundo. Ya se había expandido y enfriado. Sin embargo, aún estaba tan caliente que los gluones no podían capturar a los quarks que zumbaban alrededor. Este plasma de quarks-gluones también será explorado por el LHC. Su anillo de almacenamiento se sitúa en un túnel subterráneo de casi 27 kilómetros de largo (**Fig. B**). Fuertes imanes superconductores obligan a los protones o iones de plomo cargados eléctricamente a circular sobre dos órbitas circulares opuestas. Aceleradores aguas arriba "alimentan" al LHC con paquetes de partículas, y éste a su vez los encadena como vagones de un largo tren dentro de su carrusel gigante. Los físicos, entonces, estrellan 40 millones de estos paquetes en un segundo en cuatro puntos de colisión donde, en cavernas subterráneas, se encuentran poderosos detectores.

Son necesarias hasta 600 millones de colisiones por segundo para detectar sucesos extremadamente raros. Para la detección de la partícula de Higgs se estima que son necesarias entre 10^8 y 10^{14} colisiones. ¡Si se tratara de agujas, el pajar pesaría diez millones de toneladas! Igualmente colosal es la cantidad de datos acumulados. Se requiere de una tecnología informática completamente nueva. No por casualidad el CERN ha contribuido de manera significativa a la invención de la *World Wide Web* con lo que ya generó una primera revolución cultural.

LAS HUELLAS DE PARTÍCULAS SON FIJADAS

Uno de los puntos de colisión se encuentra en el centro de ATLAS (**Fig. C**). Este gigante entre los cinco experimentos del LHC es tan alto como un edificio de cinco pisos, tiene 44

EL GRAN COLISIONADOR DE HADRONES



El anillo de almacenamiento más grande del LHC (azul) posee una circunferencia de 26,7 km y está entre 50 y 175 metros bajo tierra. Los detectores están en cuatro puntos de colisión. Los ejes verticales hacia la superficie son necesarios para su construcción y funcionamiento. El LHC mantiene al haz de partículas en órbita mediante aproximadamente 2.000 fuertes imanes super-

conductores. Un total de 31.000 toneladas de material debe ser enfriado a la increíble temperatura de 1,9 grados Kelvin. Esto es más frío que el espacio interplanetario libre, cuya temperatura es de 2,7 grados Kelvin. El LHC no sólo produce por lejos la colisión de partículas artificial más fuerte, sino que también puede hacer colisionar muchísimas partículas a la vez.

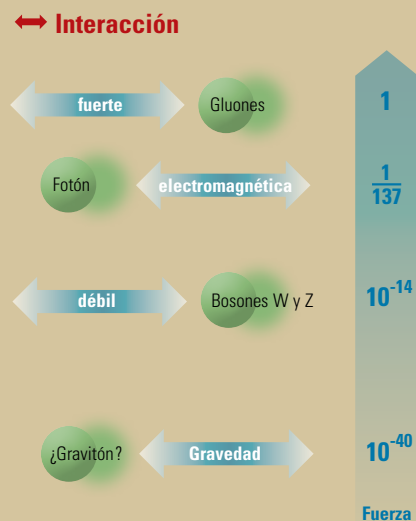
metros de largo y pesa 7.000 toneladas. Quién quiera atrapar partículas pequeñas y rápidas, necesita de una gran "masa de frenado". La compleja maquinaria compuesta por un millón de partes fue construida por 2200 científicos e ingenieros de 37 países. El Instituto Max Planck de Física en Múnich realizó un significativo trabajo de desarrollo. Siegfried Bethke, director del Instituto, está allí desde principios de 1990 y dice: "¡Es hora de que comiencen las mediciones!"

Las colisiones de partículas son complejas porque la famosa fórmula de Einstein $E=mc^2$ juega un rol importante (E: energía - m: en masa - C: la velocidad de la luz). Había descubierto que la energía puede convertirse en materia y viceversa. Por eso, en el poderoso LHC, los protones no se "astillan" en sus componentes, quarks y gluones, como dos balas de cañón disparadas una contra otra. A partir de la energía cinética liberada se crean muchas partículas nuevas. Algunas de éstas desencadenan una "cascada" de partículas secundarias.

ATLAS debe detectar con precisión las hasta mil huellas de partículas por colisión en las tres dimensiones espaciales. Afortunadamente, las partículas emergentes deben obedecer las reglas de la física, en este caso, las **leyes de conservación**. Éstas les definen la energía, impulso y momento angular, carga eléctrica y ciertas propiedades cuánticas. Esto trae orden al caos. Así, cualquier proceso físico deja una huella característica. Como en un archivo de huellas dactilares, los físicos pueden buscar nuevos sucesos.

Generación	Partícula	Carga el.
1.	Electrón	-1
	Electrón-neutrino	0
	up-Quark	2/3
	down-Quark	-1/3
2.	Muón	-1
	Muón-neutrino	0
	charm-Quark	2/3
	strange-Quark	-1/3
3.	Leptón tau	-1
	Tau neutrino	0
	top-Quark	2/3
	bottom-Quark	-1/3

Las doce partículas elementales del Modelo Estándar de la física de partículas están divididas en tres generaciones. Actualmente, ya sólo existe la primera generación. El muón, sin embargo, a menudo se genera por un corto lapso debido a la radiación cósmica que llega a la atmósfera.



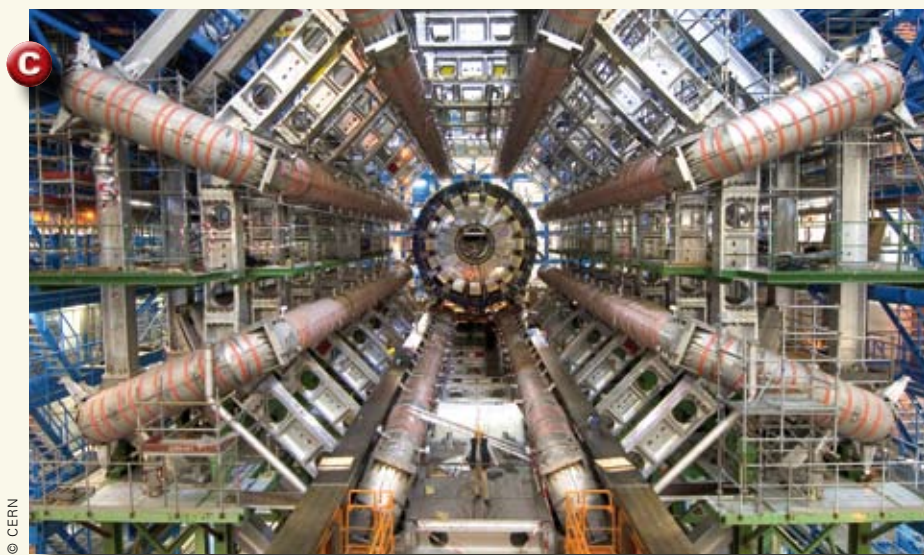
En tres de las cuatro fuerzas fundamentales, las partículas que intervienen fueron demostradas experimentalmente. La física las llama cuantos y las cuenta como partículas virtuales, lo que significa que estas partículas pueden existir sólo brevemente durante su "función de agente potenciador". Si la gravedad también posee un gravitón como partícula virtual, todavía es un misterio.

Para captar la mayor cantidad de partículas, ATLAS rodea el punto de colisión desde todos lados. Su objetivo es proporcionar información precisa sobre el tipo de partículas y su movimiento. Para ello se compone de varios cilindros unidos entre sí, cada uno con diferentes funciones. Todos están cerrados en ambos extremos por capas de una misma función. El detector interno posee 7 metros de largo y un diámetro de 2,3 metros. Está compuesto por miles de chips de silicio. Cuando una partícula con carga eléctrica pasa a través de un chip de ese tipo se pro-

duce una breve señal eléctrica. A partir de una cadena de estas señales, el detector interior puede reconstruir la huella de las partículas con una precisión de unos pocos micrones (milésimas de milímetro). Sin embargo, esta huella seguiría proporcionando muy poca información. Por eso es que dos imanes gigantes rodean todo el detector interior. Éstos generan un fuerte campo magnético que obliga a las partículas cargadas eléctricamente a describir una trayectoria curva. Esta curvatura proporciona información detallada sobre la carga eléctrica, el impulso (velocidad) y, por ende, la energía cinética de una partícula. Se trata de piezas fundamentales del rompecabezas de información que los físicos tienen que armar en el análisis de una colisión.

DETECTORES ULTRA VELOCES

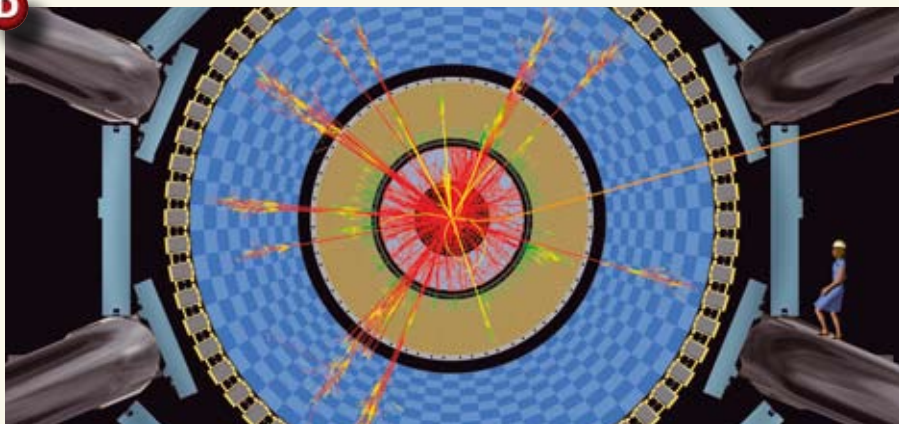
Los científicos de Múnich han participado en el desarrollo del detector interno de silicio y construyeron algunas partes. "Es muy importante la resistencia a la radiación de los chips de silicio", remarca Bethke. A pesar de ser expuestos durante años a un violento bombardeo de partículas, en lo posible, deben funcionar durante mucho tiempo. Por otra parte, el detector debe ser extremadamente rápido para registrar todas las colisiones. El detector interno está rodeado por dos "calorímetros" acoplados. Juntos tienen un diámetro de 8,4 metros y una longitud de 13,3 metros. Los calorímetros



© CERN

▲ El ATLAS en etapas anteriores todavía vacío. Sólo los anillos exteriores de los gigantes imanes superconductores ya están instalados además de la "capa final" del sistema calorimétrico que se ve en la parte trasera con forma de rueda. La persona en el medio abajo da una idea de la escala.

D



▲ Simulación computarizada de las huellas de partículas de un microagujero negro que podría surgir en las colisiones protón-protón del ATLAS. La vista desde la dirección de la tubería del haz (centro) muestra la sección circular del detector. Lo cierto es que el pequeño agujero sería inofensivo. De inmediato se desintegraría en muchas partículas secundarias, como se muestra aquí.

→ deben frenar casi todas las partículas de la colisión mediante placas de metal macizas. De esta forma pueden medir con precisión la energía cinética liberada. Además, con sus casi 200.000 canales de medición, registran en qué lugar exactamente fue frenada cada partícula. A diferencia del detector interno, éstos también detectan partículas eléctricamente neutras. Se trata, principalmente, de fotones de muy alta energía (radiación gamma) pero también de neutrones o hadrones.

Así y todo, hay dos tipos de partículas que logran escaparse de los calorímetros: los neutrinos y muones. Los **muones** son los hermanos más pesados de los electrones y pertenecen a la 2da generación de partículas elementales. En nuestro mundo de hoy, se generan sólo brevemente cuando hay una gran cantidad de energía en juego, por ejemplo ahí, donde los rayos cósmicos bombardean nuestra atmósfera. Los muones generados por las colisiones entre partículas son fuentes de información particularmente importantes. Para capturarlos, ATLAS posee un enorme detector que lo cubre en tres capas. El principio de esta cámara de muones es simple: consiste en un conjunto de caños de aluminio de 4 metros de largo, que se llenan de gas, principalmente argón. Por el centro de los tubos de un diámetro de 2,5 centímetros corre un largo alambre con una delgadez dos veces menor a un cabello humano. Entre el alambre y la pared del tubo se genera una tensión eléctrica. "Cuando un muón atraviesa el gas, éste golpea los átomos de argón liberando sus electrones", explica Bethke. "Los electrones derivan hacia los cables de carga positiva generando una señal eléctrica".

No obstante, estas cámaras gigantes deben identificar a los muones con una precisión de al menos 100 micrones. Esto hace que su construcción sea muy demandante. La gravedad deforma las cámaras en sus soportes y las variaciones de temperatura cambian su geometría. Estos cambios son realmente pequeños, pero arruinarían la precisión requerida. Por eso, cada cámara cuenta con un elaborado sistema de medición láser, que registra la más mínima flexión.

MICROAGUJEROS NEGROS, INOFENSIVOS

El LHC y sus detectores tendrán que funcionar un par de años antes de que los físicos puedan esperar resultados. Luego, ojalá puedan saber si la partícula de Higgs realmente existe. "De lo contrario, los teóricos tendrán que inventar algo nuevo", dice el físico experimental Bethke. Pero hay muchas otras cuestiones fascinantes acerca de las profundidades de nuestro mundo, que el LHC podría responder. Una cuestión importante es la 'supersimetría'. Julius Wess, un ex colega de Bethke en el Instituto, ayudó a desarrollar esta teoría en la década de 1970. Ésta asocia las partículas elementales conocidas a un segundo mundo de partículas espejadas, que son más pesadas. Con su enorme energía, el LHC debiera ser capaz de producirlas, si es que existen. Estas partículas supersimétricas, por ejemplo, podría estar ocultas detrás de la materia oscura. Por otra parte, los físicos de partículas ya han observado que las tres fuerzas del microcosmos convergen cuando la energía de la colisión aumenta. Cuando hace tanto calor como apenas después del Big Bang, podrían unirse en una única fuerza primaria. De esta forma, con la ayuda de la supersimetría podría darse

una "resolución muy elegante". Según ésta, el joven universo caliente habría sido muy simple. La simplicidad es el tipo de belleza que los físicos aman.

Otra especulación son los microagujeros negros que podría producir el LHC (Fig. D). ¿Se tragarían la Tierra? Sin duda esto no sucederá, porque en seguida serían nuevamente destruidos. La propia naturaleza prueba que este peligro no existe. Algunas partículas del cosmos, que también alcanzan la Tierra, al chocar, liberan millones de veces más energía que el LHC. Si realmente se crearan agujeros negros peligrosos, nuestro sol, por ejemplo, habría sido tragado por uno hace mucho tiempo.

¿Por qué en el Universo actual sólo observamos la materia? Ésta es otra pregunta fundamental de la física que el LHC tal vez podría responder. De hecho, después del Big Bang debería haberse formado tanta materia como antimateria espejada. Pero inmediatamente ambas se anularon mutuamente, a excepción de un pequeño excedente de materia. Ésta sobró, formando nuestro universo actual. Los físicos obviamente están muy entusiasmados con aquellas manías ricas en consecuencias en el "espejado mundo" de la naturaleza.

"A estos quiebres de simetría debemos nuestra existencia", dice Bethke y dirige la conversación hacia otra pregunta interesante: ¿hay más de tres dimensiones espaciales? La teoría de cuerdas requiere de diez u once dimensiones para integrar la obstinada gravedad dentro de sus vibratorios campos cuánticos (las cuerdas). Pero ¿por qué sólo percibimos tres dimensiones espaciales? "Las dimensiones superiores podrían estar muy empaquetadas", explica Bethke. Si existieran, supermicroscopios como ATLAS podrían echarles un vistazo. Pero tal vez el núcleo de nuestro mundo revele novedades absolutas.

PIE DE IMPRENTA

Sociedad Max-Planck, Departamento de Información y Relaciones Públicas, Hofgartenstraße 8, 80539 München / e-mail: presse@gv.mpg.de

Redacción: Dra. Christina Beck

Texto: Roland Wengenmayr

Traducción: Ing. Agr. Roberto Neuwald

Diseño: www.haak-nakat.de

La versión en español se hizo con el apoyo del DAAD y con fondos del Ministerio de Relaciones Exteriores de Alemania.



SIEMENS

DAAD

Deutscher Akademischer Austausch Dienst
Servicio Alemán de Intercambio Académico

BASF
The Chemical Company