



© Carmelo Naranjo, de la serie *Berlín. Blanco y negro*, 2009.

Habrá nueva FÍSICA en el Gran Colisionador de Hadrones

Juan **Barranco Monarca**
Myriam **Mondragón Ceballos**

I. EL GRAN COLISIONADOR DE HADRONES

Alrededor de 8 mil físicos e ingenieros de cerca de 85 países y de distintas universidades e institutos han construido el acelerador de partículas más grande del mundo conocido como el Gran Colisionador de Hadrones, o LHC por sus siglas en inglés (*Large Hadron Collider*). Su objetivo es hacer colisionar dos haces de protones a una energía de 7 TeV. La energía de un protón con 7 TeV es equivalente a la energía que lleva un mosquito al golpearse contra una persona que va caminando a una velocidad de 3.6 Km/h. Pero dadas las reducidas dimensiones de los protones, toda esa energía está concentrada en una área diminuta. A esas energías, el choque de un par de protones permitirá estudiar en detalle su estructura interna y, por lo tanto, pondrá a prueba al modelo que describe dicha estructura conocido como Modelo Estándar de las Partículas Elementales (ME).

Dicho acelerador se encuentra cerca de la ciudad de Ginebra, justo en la frontera Franco-Suiza. Mientras estas líneas son escritas, el túnel circular de veintisiete kilómetros de longitud que contiene al LHC y que está a una profundidad que varía entre cincuenta y ciento setenta y cinco metros, ha iniciado sus operaciones y los primeros haces lo empiezan a recorrer.



El túnel de 3.8 metros de diámetro que fue construido originalmente para el colisionador de electrones y positrones (llamado LEP) posee dos tuberías adyacentes. En cada una de ellas circulará un haz de protones (los protones son un tipo de hadrón) que viajarán a una velocidad cercana a la velocidad de la luz. Los dos haces viajarán en direcciones opuestas y serán dirigidos y concentrados con la ayuda de cerca de 1,232 electroimanes que mantienen los haces en la trayectoria circular, mientras que otros 392 electroimanes colimantes adicionales mantendrán a los haces concentrados. Estos 1,624 electroimanes superconductores son enfriados a unos 271 grados bajo cero utilizando cerca de 96 toneladas de helio líquido.

Para registrar las partículas producidas en las colisiones se han construido seis enormes detectores que han sido colocados en los puntos donde se hacen colisionar los dos haces de protones. Dichos detectores se llaman ATLAS, CMS, ALICE, LHCb, TOTEM y LHCf. Los dos primeros son detectores de partículas multipropósitos. ALICE (A Large Ion Collider Experiment) ha sido especialmente diseñado para estudiar las propiedades de un nuevo estado de la materia conocido como plasma de quarks y gluones. Dicho plasma se cree existió en las condiciones extremas que tenía el Universo unos instantes después de su inicio en la gran explosión (*Big Bang*). Los últimos tres son detectores más pequeños y realizarán procesos más especializados.

El costo de este experimento es de alrededor de unos 6,000 millones de euros. Cuando se habla de costos,

muchas veces se necesita escuchar cuál es el objetivo y los resultados que se espera obtener de un experimento de esta envergadura.

Desgraciadamente se ha hecho mucho énfasis en que el único objetivo de dicho acelerador es el descubrimiento de la partícula de Higgs, la única pieza del ME que hasta ahora no tiene evidencia experimental. Sin embargo, estamos convencidos de que ese no es el único motivo por el cual el LHC ha sido construido y es el objetivo del presente texto mostrar que habrá nueva evidencia experimental en este nuevo super colisionador que seguramente revolucionará nuestra visión del mundo.

2. ENTENDIENDO LA NATURALEZA

El origen de la palabra “Física” se remonta a los griegos. Procede del vocablo *physis* que normalmente es traducido como “naturaleza” y el sufijo *ica*, que quiere decir ciencia. En otras palabras, Física es el estudio de la naturaleza. Durante cientos de años, desde los griegos hasta el Renacimiento, no hubo un progreso significativo en la Física. No fue hasta la llegada de Galileo que el proceso científico tuvo un punto de inflexión gracias a la implementación de lo que ahora llamamos Método Científico. La aplicación de este método al estudio de la naturaleza ha dado resultados espectaculares. Lo que hizo Galileo fue cambiar la manera de hacerse preguntas. En lugar de responder a las “grandes” preguntas del Universo como: ¿de qué está hecho el universo?, ¿cómo fue creado el universo?, ¿cuál es la esencia de la vida?, Galileo comenzó por preguntas pequeñas y sencillas. Resulta

que contestando preguntas limitadas es posible encontrar respuestas a las preguntas generales. Es la colectividad, la manera de relacionar a las pequeñas respuestas las que en conjunto nos dan una imagen global del universo. Tal y como dice Ernesto Sabato:

Entender es relacionar, encontrar la unidad bajo la diversidad. Un acto de inteligencia es darse cuenta de que la caída de una manzana y el movimiento de la Luna, que no cae, están regidos por la misma ley.

Este ha sido el ejercicio que ha hecho la Física por cerca de 300 años. Tratando de responder por qué las manzanas caen se llegó a la ley universal de la gravitación, que fue descubierta por Newton, y que tiempo después se generalizó en la llamada Teoría General de la Relatividad que, además de contener a la Teoría Newtoniana de la Gravitación, predice nuevos fenómenos. De la teoría general de la relatividad y las suposiciones de que el universo es isótropo y homogéneo, se deduce que éste pudo haberse originado en una gran explosión o *Big Bang*. Este ejemplo muestra que aquellas preguntas generales que se habían planteado y que eran imposibles de abordar, como ¿cuál es el origen del universo?, poco a poco se han ido convirtiendo en preguntas abordables y del tipo científico.

La pregunta: ¿de qué está hecho el universo? no se podía resolver de manera general. Se tuvieron que invertir incontables horas de trabajo donde colaboraron una larguísima serie de científicos que incluye a Dalton, Mendeleiev, Rutherford, Thomson, Einstein, Bohr, Dirac, Schrödinger, Heisenberg, Feynman, Fermi, Gell-Mann, Glashow, Salam, Weinberg, Lederman, Higgs, Yang, Mills y muchos más, antes de poder contestarla. Ahora se tiene una teoría, conocida como el ME, que es capaz de abordar a la pregunta general y lo que es más, esa teoría es capaz de hacer predicciones con una precisión de 1 en 100 mil millones.

Sin entrar en detalles técnicos, de acuerdo al ME, la materia está constituida por partículas elementales, es decir, hasta las escalas de energía alcanzada por los aceleradores actuales, partículas indivisibles y sin estructura interna. Estas partículas elementales se dividen en quarks, leptones y bosones intermediarios. Los quarks tienen por nombres (o etiquetas de sabor) los siguientes: *up*, *down*, *charm*, *strange*, *bottom* y *top*. Cada quark a su

vez puede tener tres distintas presentaciones (o colores) además de sus respectivos anti-quarks. Por otra parte, el resto de contenido de partículas incluye a tres leptones que poseen carga eléctrica y tres que son eléctricamente neutros. Los leptones cargados son el electrón, el muón y el tau, y los neutros son llamados neutrinos y existe un neutrino asociado a cada leptón cargado. Tenemos entonces un neutrino del electrón, uno del muón y uno del tau. Finalmente hay doce bosones intermediarios que son los responsables de transmitir las interacciones fundamentales (sin incluir a la gravedad) entre los quarks y los leptones. Existen cuatro interacciones fundamentales de la naturaleza que actúan sobre los quarks y los leptones:

1. La fuerza fuerte que, entre otras cosas, mantiene a los quarks unidos para que formen a los protones y a los neutrones. Los bosones responsables de transmitir esta interacción son 8 gluones.
2. La débil, que es la responsable del decaimiento de los núcleos. Los bosones asociados son los bosones W (uno positivo y su antipartícula que es negativa) y un bosón neutro llamado Z.
3. La electromagnética producida por el intercambio de fotones.
4. La gravitacional.

A este nivel la gravedad no juega un rol importante y es por ello que puede ser despreciada sin pérdida de generalidad. Una tabla de las partículas elementales se muestra en la Figura 1.

Quarks			Bosones intermediarios
up u	charm c	top t	fotón γ
down d	strange s	bottom b	gluones g
Leptones			
electrón e	muón μ	tau τ	W^+
Neutrino del electrón ν_e	Neutrino del muón ν_μ	Neutrino del tau ν_τ	Z^0

Figura 1. Las partículas elementales en el ME: quarks, leptones y bosones intermediarios de las interacciones fundamentales.

Sin entrar en mucho detalle, el ME es una teoría cuántica de campos que describe las interacciones entre los leptones y los quarks a través del intercambio de bosones intermediarios. Una imagen caricaturizada es la siguiente: imaginemos que vemos a dos tenistas desde una altura considerable. Observamos que ambos jugadores se mueven de manera muy curiosa y al parecer sin ningún orden. Sin embargo, a medida que nos acercamos a los jugadores veremos que entre ellos intercambian una pelota, que es la responsable de que se muevan de la manera que vimos anteriormente. De forma similar, las partículas elementales interactúan intercambiando una partícula entre ellas a la cual llamamos bosón intermediario. Para la interacción fuerte, por ejemplo, los intermediarios son los gluones (del inglés *glue*: pegamento), para la fuerza débil son los bosones W y el Z y para la electromagnética el fotón. Siguiendo con la analogía, nuestros tenistas se pueden agrupar a su vez en dos bandos: los hadrones y los leptones. Los primeros son principalmente sensibles a la interacción fuerte, y los leptones a la débil. Los hadrones a su vez están formados por los ya referidos quarks (además de gluones y otras partículas virtuales).

Este modelo que brevemente hemos esquematizado necesita además de una partícula extra conocida como el bosón de Higgs. La necesidad de dicha partícula radica en el hecho de que todos los bosones intermediarios y partículas tendrían masa nula en el modelo con simetrías exactas. Sin embargo, la evidencia experimental requiere que al menos los bosones intermediarios de las interacciones débiles sean masivos para poder ajustar los datos observados, sin mencionar la clara observación cotidiana de que los protones, electrones y toda la materia que conocemos tiene masa. Para inducir esa masa se requiere que haya un rompimiento espontáneo de una parte del grupo de simetrías del modelo. El responsable de dicho rompimiento, y por ende el generador de la masa de los bosones W y Z, es una partícula de espín cero que es precisamente nuestro llamado bosón de Higgs.

Esta partícula tiene que ser muy pesada (del orden de la masa de un átomo de uranio), eléctricamente neutra y sin momento magnético intrínseco. Esta ausencia de cargas hará su detección una tarea sumamente difícil de realizar.

El LHC representa parte de ese proceso de responder preguntas limitadas que pueden indudablemente llevar, poco a poco, al entendimiento o a la respuesta de algunas de las “grandes” preguntas. En particular, la energía a la que chocarán estos protones será suficiente para producir en “grandes” cantidades a este bosón de Higgs. Sin embargo, tal y como habíamos anticipado, el LHC no trata exclusivamente del Higgs. Algunas otras de las preguntas “limitadas” en las que el LHC podrá dar información relevante para su posible respuesta son:

1. ¿Cuál es el origen de la masa?
2. ¿Por qué hay tal variedad en la masa de los quarks y leptones?
3. ¿Es la naturaleza supersimétrica?
4. ¿Por qué el Universo está hecho de materia y no de antimateria?
5. ¿Existe una unificación de las interacciones fundamentales?
6. ¿Dónde está y qué es la materia oscura?

En lo que sigue trataremos de mostrar cómo el LHC podrá darnos información acerca de estas preguntas y cómo estas pequeñas preguntas pueden vincularse para resolver las “grandes” preguntas de la naturaleza.

2.1 ¿CUÁL ES EL ORIGEN DE LA MASA?

Indudablemente aquí es donde el LHC puede darnos su principal contribución y proporcionarnos más información acerca del mecanismo que genera la masa de las partículas del ME.

El término masa fue introducido en el siglo XVII por Newton en su *Principia Mathematica*. Él definió a la masa como “la cantidad de materia”. Desde entonces y hasta la fecha no existe una definición consensada de lo que es la materia y por ende el problema de la masa es uno de los problemas fundamentales que hay en la Física actual. Para la mayor parte de los físicos que estudian las partículas elementales, la solución al problema de la masa está directamente conectada con la búsqueda y descubrimiento del llamado bosón de Higgs. De hecho, otra manera equivalente de plantear esta pregunta en este esquema de partículas elementales sería la siguiente: ¿qué determina el rompimiento espontáneo de la simetría electro-débil? El modelo mínimo requiere que exista este bosón para que rompa la simetría.

Producir esta partícula en un tipo de aceleradores como el LHC no es sólo colocar un ladrillo más en la construcción, sino que su detección pone a prueba al mismo ME desde sus cimientos. Para poner de manera más clara la frase anterior, es ilustrativo entender uno de los procesos que se espera producirá un vasto número de bosones de Higgs. Este proceso está dibujado en la Figura 2 y es llamado la producción resonante de pares de fotones. Este proceso incluye todos y cada uno de los ingredientes del ME: desde la composición interna de los protones que originalmente colisionan, la producción de gluones y su acoplamiento con quarks y el acoplamiento de estos quarks con el mismísimo bosón de Higgs, cuyo acoplamiento debe de ser proporcional a la masa de los quarks top y, finalmente, un vértice que incluye puramente interacciones electro-débiles que genera el par de fotones finales que deben ser visibles en el detector. A pesar de que este proceso es sutil y difícil de detectar debido al enorme ruido experimental, es posible calcular el número de eventos (de fotones) que deben producirse con las condiciones iniciales de energía de los dos protones que chocan. Este cálculo es, por sí sólo, una tarea de gran envergadura. Si el número de fotones calculado con base en el ME coincide con el número de fotones observados en el LHC esto será una confirmación de que el bosón de Higgs está ahí.

2.2 ¿POR QUÉ HAY TAL VARIEDAD EN EL ESPECTRO DE MASAS DE LOS FERMIONES?

Esta pregunta está en estrecha relación con la pregunta anterior. El bosón de Higgs no sólo le da masa a los bosones intermediarios W y Z sino que además su acoplamiento con el resto de las partículas es el responsable de generar la masa a estas partículas. Dichos acoplamientos son valores que se determinan directamente de la medición de la masa de las partículas y son llamados de manera general acoplamientos de Yukawa. No hay nada en la teoría que pueda dar una explicación de por qué esos acoplamientos tienen valores tan dispares. Para dar un ejemplo de la disparidad y arbitrariedad de estos números basta mencionar que el acoplamiento de Yukawa del quark tipo top es del orden de la unidad en unidades apropiadas, mientras que, en estas mismas unidades, el acoplamiento del electrón es del orden de tan sólo una millonésima parte del acoplamiento del quark top. Debe mencionarse ade-

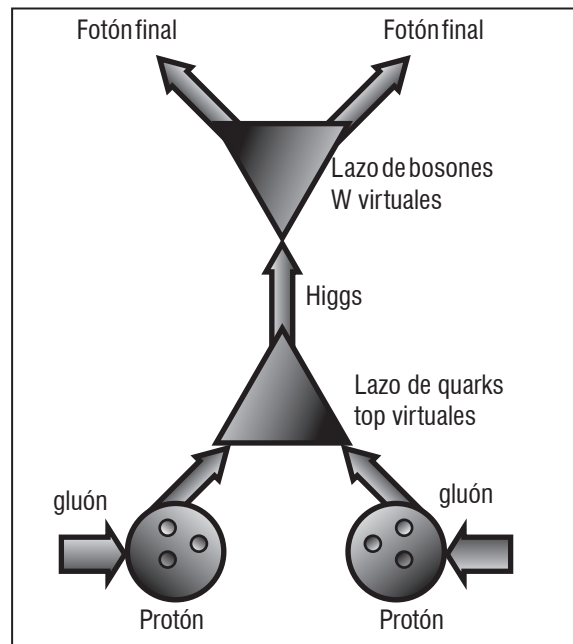


Figura 2. La producción resonante de pares de fotones será una de las reacciones en las que se pone a prueba toda la estructura del ME. La concordancia entre el número de fotones predicha por el modelo y los fotones medidos en el LHC implicará la existencia del bosón de Higgs

más que en el ME se considera que la masa de los tres tipos de neutrinos es nula. Pero hay evidencia indirecta de que los neutrinos, aunque con una masa del orden de la millonésima parte de la masa del electrón, deben de tener una masa diferente de cero. Dicha evidencia experimental no proviene de información de aceleradores de partículas sino del fenómeno conocido como oscilaciones de los neutrinos y entenderlo llevó cerca de 30 años de investigación. No entraremos en detalles de este fenómeno. El punto es resaltar la disparidad de valores que pueden tomar los acoplamientos de Yukawa. ¿Por qué hay tal variedad? ¿Existe alguna manera de predecirla? Mucho se ha dicho que la confirmación de que los neutrinos tienen masa es, de entrada, física más allá del ME. En realidad, visto desde esta perspectiva, todas las masas y su origen y variedad representan un problema que debe ser resuelto por física que abarca más que el ME.

El asunto tiene incluso más agujeros: los distintos tipos de quarks están mezclados entre sí. Dicha mezcla está representada por distintos ángulos (otra manera distinta de poner los parámetros) que en su conjunto definen una matriz de mezcla conocida como Matriz de Cabb-



bo-Kobayashi-Maskawa (CKM). Esta matriz de mezcla, a primera vista, parece arbitraria y tiene además una relación directa con los valores de las masas de los quarks. A esta rama de la física de partículas se le llama la física del sabor, porque involucra distintos sabores (sabor es la etiqueta usada para designar el tipo de partícula de la que estamos hablando) y sus distintas combinaciones dadas por la matriz CKM. Es decir, la física del sabor y los cocientes de masas (y por ende, el problema del origen de la masa) están relacionados entre sí. Como bien dijimos al principio, el entender es hallar relaciones entre los distintos componentes de la naturaleza. El LHC dará información del mecanismo de Higgs, que es el responsable del rompimiento de la simetría, pero además dará información acerca de los ángulos de mezcla que constituyen la matriz CKM al estudiar ciertos tipos particulares de decaimientos de ciertas partículas compuestas de quarks. Así que habrá datos experimentales directos y precisos de la física del sabor que nos ayudarán a entender quizá la variedad de los acoplamientos de Yukawa.

2.3 ¿EXISTE UNA UNIFICACIÓN DE LAS FUERZAS FUNDAMENTALES?

Ya mencionamos que en la naturaleza conocemos cuatro fuerzas que pensamos fundamentales. Pero ¿por qué cuatro?, ¿por qué no una?

El hecho de que los átomos sean neutros es un indicio de que las fuerzas fundamentales se pueden unificar, aunque por supuesto siempre hay posibilidad de coincidencias. La neutralidad de los átomos es un hecho sobresaliente, puesto que esta observación se ha verificado hasta con una precisión de una parte en 10^{22} (un 1 seguido de 22 ceros). Esta característica es extraordinaria porque el ME establece que los quarks se unen para formar a los protones y a los neutrones por medio de la interacción fuerte. Los leptones, por otra parte, son sólo sensibles a las interacciones electro-débiles. En este esquema no hay ninguna razón que relacione los valores de las cargas eléctricas de los quarks y los leptones tal que los protones tengan una carga igual y opuesta a la carga de los electrones. Este es un hecho notable para que se trate sólo de una coincidencia. Quizá esto sugiere que haya una conexión más profunda entre quarks y leptones, quizá algún principio que relaciona las cargas de los quarks y los leptones de tal forma que la interacción débil y la fuerte son en realidad manifestaciones de una misma interacción que a las escalas de energía actuales parecen entes separados. Es por ello que en la teoría, a bajas energías, se necesitan dos constantes de acoplamiento distintas para cada interacción. Pero siguiendo la filosofía de que a una escala de energía más alta, los quarks y los leptones estén relacionados en un nivel más profundo, puede suceder que haya una sola simetría general que se ha ido rompiendo conforme se ha enfriado el universo. Esto se puede verificar al estudiar la variación del



© Carmelo Naranjo, de la serie *Berlín. Blanco y negro*, 2009.

valor de la constante de acoplamiento de cada interacción (fuerte, débil y electromagnética) como función de la energía y ver si para algún valor de energía se logra que todas las constantes coincidan en un solo punto. Sucede que en el Modelo Estándar este estudio se ha hecho y se obtiene que dicha unificación no sucede. Pero esto no es el fin de la historia con la unificación de interacciones. Si además se extiende el grupo de simetría de tal manera que no sólo haya una relación entre quarks y leptones sino que además haya una relación con los bosones intermediarios (fotones, gluones, w y Z) en una Super-Simetría e introduciendo nuevas partículas (aún por descubrir), el mismo análisis del corrimiento de las constantes de acoplamiento se puede hacer con estos nuevos ingredientes y se encuentra que ahora hay un muy buen ajuste, un punto donde las tres constantes de acoplamiento toman el mismo valor. Esto sucede a una escala de energía de 10^{16} GeV, sugiriendo una unificación de las interacciones, aunque debe de existir supersimetría para que esto suceda. Lo anterior nos conduce directamente a la siguiente pregunta:

2.4 ¿ES LA NATURALEZA SUPERSIMÉTRICA?

Además de la motivación expuesta brevemente en la sección previa, existen otras motivaciones que podrían sugerir que hay una simetría fundamental de la que se derivan las simetrías correspondientes a las del ME. Una de ellas está también relacionada con el misterioso Higgs y es la siguiente: la masa del bosón de Higgs tiene contribuciones extra debidas a las excitaciones del vacío. Estas correcciones pueden ser tan grandes que harían que la masa del Higgs aumentara mucho. Tanto así que no sería posible ajustar esta gran masa con el resto de las observables del ME de una manera natural. Entonces debe existir algo que evite que la masa del Higgs sea demasiado grande. Resulta que si se acoplan los quarks con unas nuevas partículas similares a los quarks pero con espín entero y algo análogo para el caso de los leptones entonces, ahora sí, de manera “natural”, dichas correcciones a la masa del Higgs se anulan entre sí de tal forma que la masa del Higgs es finita y lo suficientemente pequeña para ajustar todas las observables hasta ahora reportadas. La introducción de nuevas partículas exige extender el grupo de simetrías del ME a una nueva Super-Simetría. El costo es muy alto, se deben introducir otras tantas partículas que no se han observado aún en la naturaleza, junto con ángulos de mezcla entre ellas, acoplamientos tipo Yukawa etcétera. Además, esta Super-Simetría debe estar rota a las escalas de energía actuales, ya que no la hemos observado. Pero la buena noticia es que deben existir remanentes de la supersimetría a escalas de energía que el LHC podrá alcanzar. En otras palabras, el LHC será capaz de mostrar evidencia si dicha Super-Simetría existe o no a las escalas de energía que puede probar (o ver) el experimento.

2.5 ¿DÓNDE ESTÁ Y QUÉ ES LA MATERIA OSCURA?

¿Se pueden matar dos pájaros de una sola pedrada? En los últimos 20 años ha habido una revolución en nuestra imagen del universo como no había ocurrido quizá desde que se descubrió que el universo se está expandiendo. Dos son los factores que han contribuido a esta nueva visión: la confirmación de que la velocidad de rotación de las estrellas alrededor de las galaxias no corresponde a la predicha por la teoría de la gravedad si se considera que la galaxia está formada sólo por materia luminosa. En otras palabras, la materia que describe el ME no es suficiente para explicar el perfil observado en las curvas de rotación de las galaxias. El otro hecho es que el universo se expande, pero lo hace de manera acelerada.

Si tomamos como válida la Teoría de la Relatividad General, estos dos hechos pueden explicarse si al contenido de materia del universo se le agrega un 23% de materia “oscura” extra y un 73% de “energía oscura”. La primera explicaría, entre otras cosas, el por qué las curvas de rotación de las estrellas tienen el comportamiento anómalo que muestran; la segunda explicaría por qué el universo se expande de manera acelerada. Sabemos que la materia oscura no está hecha de partículas descritas por el ME y, por otra parte, sabemos que si existe la supersimetría, habrá todo un espectro de superpartículas que no ha sido descubierto hasta ahora pero que podría estar en alguna parte del universo. Así que supersimetría bien podría no sólo ayudar a resolver algunos de los problemas del ME, sino que además, una o más partículas supersimétricas podrían ser las responsables de la materia oscura de las galaxias, y así explicar el comportamiento anómalo de las curvas de rotación. La partícula supersimétrica más ligera, estable, eléctricamente neutra que podría constituir esa materia faltante es el llamado neutralino. Puesto que el neutralino está asociado a los quarks y leptones, entonces deben producirse neutralinos en algunas de las colisiones protón-protón del LHC. Si se detecta dicho neutralino, algunas de sus propiedades podrían ser medidas directamente en experimentos terrestres. Dependiendo de la magnitud de estas propiedades se podrá determinar si efectivamente el neutralino es o no el principal componente

de la materia oscura. Para ilustrar un poco mejor lo anterior, recordemos que los neutrinos fueron durante algún tiempo candidatos para constituir el resto de la materia faltante de las galaxias. Sin embargo, las mediciones para determinar la masa de los neutrinos hechas en laboratorios terrestres que estudiaron el decaimiento del tritio, confirmaron que la masa de los neutrinos es extraordinariamente pequeña y, por lo tanto, no puede generar la masa necesaria para reproducir las curvas de rotación. Esto, unido a otras observables como la formación de estructura del universo, es decir, la distribución de materia en forma de galaxias y en cúmulos de galaxias, ha determinado que el neutrino no puede ser el principal componente de la materia oscura. Un proceso semejante podría realizar el LHC determinando las propiedades del neutralino.

3. REDUCCIONISMO VS. EMERGENCIA

Como habíamos mencionado, entender significa hallar las relaciones entre hechos de la naturaleza que parecían desconexos. De hecho, pareciera que la última relación, aquella que nos permite determinar si entendemos algo o no, es la relación causa-efecto y es esta relación la que se busca en el método científico. Una forma de llegar a ella y que ha resultado una de las más eficientes consiste en el análisis. Éste consiste en tomar un fenómeno o proceso de la naturaleza y descomponerlo en sus componentes últimos hasta alcanzar el nivel en que no es posible ir más allá. A este proceso se le llama reduccionismo constitutivo porque consiste en la reducción del objeto de estudio en sus componentes más básicos. Una vez que se conocen sus constituyentes, se buscan relaciones causales entre ellos y se establecen leyes o reglas de cómo un elemento constitutivo causa un efecto en otro elemento constitutivo. Al conjunto de esas reglas es a lo que llamamos una teoría. Ahora bien, tenemos además otro proceso de reducción al cual se le llama reducción teórica que consiste en el fenómeno donde una teoría relativamente autónoma es absorbida o reducida a otra teoría más inclusiva o general. Un ejemplo de reducción teórica es el caso de la termodinámica que es absorbida por la mecánica estadística.

Esta ha sido en gran parte la filosofía detrás de nosotros los físicos de partículas y en parte por ello se nos ha

llamado reduccionistas sin compromiso. Si el objetivo es entender al universo, y para entenderlo hay que hallar relaciones entre sus componentes, lo primero que hay que hacer es hallar cuáles son dichos componentes últimos, fundamentales, y necesitamos además una descripción de las interacciones entre ellos. Sin embargo, esto es la mitad del camino. La habilidad para reducir todo a sus leyes fundamentales no implica la habilidad para empezar de esas leyes y reconstruir el universo. Se necesitan ambas para llegar a la prueba suprema del físico tal y como fue planteada por Einstein: "La prueba suprema de los físicos es llegar a esas leyes elementales y universales desde las cuales el Cosmos puede ser construido por pura deducción".¹ Este proceso de deducción requiere varios niveles. El comportamiento de grandes y complejos agregados de partículas elementales no es entendido en términos de una simple extrapolación de las propiedades de unas cuantas partículas. En lugar de esto, en cada nivel de complejidad aparecen nuevas propiedades denominadas propiedades emergentes. El entendimiento de cada nuevo comportamiento requiere de su propia línea de investigación.

El descubrimiento del Higgs implicaría una confirmación y un éxito del reduccionismo constitutivo. Sin embargo, el camino hacia un entendimiento pleno de la naturaleza está aún lejos de ser realizado en su totalidad. El LHC curiosamente jugará un doble papel, tanto desde el punto de vista reduccionista al buscar los componentes últimos de la materia, pero también tendrá su contribución a la visión emergente de la naturaleza en dos sentidos: si el ME es la teoría última de las partículas elementales (si se descubre el Higgs tal y como se predice, con su valor esperado de masa y demás propiedades) entonces el LHC marcará el momento de encarar el verdadero problema de saber si el conocimiento de los componentes básicos de la naturaleza permitirá construir un entendimiento del sistema total. Es decir, si podremos entender el día a día del mundo con las leyes e interacciones fundamentales. Por otra parte, y siguiendo la filosofía de que aparecen propiedades nuevas e inesperadas cuando se tienen grandes agregados de materia, el LHC también aportará información de este tipo al tratar con miles de millones de colisiones a temperaturas y energías muy altas. Si no es lo mismo tratar una partícula que muchas, el LHC podrá darnos una pista de cómo se modifican las

interacciones fundamentales en el condensado de quarks y gluones que se producirá como resultado de las colisiones de iones pesados que viajan a velocidades cercanas a la de la luz. Quizá sea el primer lugar donde empezarán a surgir propiedades emergentes que se generan a partir de las interacciones fundamentales.

4. COMENTARIOS FINALES

Quizá rayemos en el mayor de los optimismos, pero por lo expuesto anteriormente creemos que efectivamente el LHC será una contribución importante en la labor del entendimiento de la naturaleza. Es un hecho que el LHC abrirá una nueva ventana de observación del universo a escalas de energía que no se habían alcanzado nunca antes. De igual forma que los astrónomos cuando empiezan a observar el cielo con una nueva longitud de onda, o cuando los físicos de estado sólido logran reducir la temperatura por un factor de diez, cuando los físicos de partículas elementales han elevado la energía de sus aceleradores por un factor de 10 se ha llegado al descubrimiento de nuevas cosas. Basta recordar que a mediados del siglo pasado se construyó el Bevatrón, en el Lawrence Berkeley National Laboratory (California, USA), para producir antiprotones. Este acelerador los produjo y los detectó poco después de haber sido puesto en operación. Pero inesperadamente llegó con los antiprotones todo un nuevo y vasto número de estados bariónicos y mesónicos (nuevas partículas) que cambiaron nuestro concepto de lo que es una partícula elemental. De igual forma se espera que suceda en el LHC. No nos queda más que afirmar que efectivamente, esperamos nueva física y sorpresas en el LHC.

N O T A S

¹ The supreme test of the physicist is to arrive at those universal elementary laws from which the cosmos can be built by pure deduction.

Juan Barranco Monarca
Instituto Max Planck de Física Gravitacional
Instituto Albert Einstein
email: jbarranc@aei.mpg.de

Myriam Mondragón Ceballos
Instituto de Física-UNAM