

Cómo (y para qué) descubrir la partícula de Higgs

El colisionador LHC del CERN está a punto de confirmar o descartar la existencia de la partícula de Higgs. Qué mejor momento que este para preguntarnos cómo se descubre una partícula elemental. Se trata de una cuestión de procedimiento experimental, pero en el camino hacia la respuesta nos enfrentaremos también a otra de carácter más fundamental: ¿cuál es el papel de la partícula de Higgs en nuestra visión del Universo?

La materia está formada por partículas. Nuestro entorno inmediato está compuesto por una prosaica combinación de electrones, protones y neutrones. Neutrones y protones no son elementales: están formados a su vez por otras partículas denominadas quarks, de dos tipos con curiosos nombres: *arriba* y *abajo*. Todos los electrones y todos los quarks de un mismo tipo en el Universo son iguales entre sí.

Las partículas tienen su propia taxonomía. Las que hemos citado, las que nos forman a nosotros y a los objetos que nos rodean, constituyen la denominada *primera familia*. Esta familia incluye, además, un pariente ligero y eléctricamente neutro del electrón, el *neutrino electrónico*, pero dejaremos a los neutrinos fuera de esta discusión.

Existen otras dos familias que contienen tipos de partículas similares a los de la primera, pero con masas mayores. Las partículas de estas familias tienen una propiedad sorprendente, casi mágica: existen durante ínfimas fracciones de segundo, y luego se desintegran. Eso significa que desaparecen espontáneamente, dejando en su lugar a otras partículas que originalmente no estaban ahí. Sólo las partículas de la primera familia son *estables*: una vez producidas, si se las deja estar, viven para siempre.

La física que estudia las partículas elementales vivió en el siglo XX un desarrollo colosal tanto en el frente experimental como en el teórico. Ello quedó plasmado en un modelo elegante y relativamente sencillo que explica gran parte de los fenómenos conocidos del Universo: el Modelo Estándar. Este

modelo contiene sólo unos pocos ingredientes: las citadas tres familias de partículas elementales, y unas pocas leyes que describen cómo interactúan entre ellas.

Las leyes de interacción entre partículas se corresponden con las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza: la gravitatoria, la electromagnética y las dos fuerzas nucleares, la fuerte y la débil. Las fuerzas nucleares son responsables, entre otras cosas, de que los quarks se agrupen para formar neutrones y protones, o de que éstos se agrupen para formar los núcleos atómicos.

Mucho de lo que hoy sabemos de las interacciones lo hemos aprendido estudiando desintegraciones. Éstas ocurren siempre obedeciendo una serie de *normas*. Una de ellas nos recuerda que en el mundo microscópico tampoco se le pueden pedir peras al olmo: la masa total de las partículas producidas en la desintegración es siempre menor a la de la partícula original. Esta restricción aparece naturalmente en la teoría física al combinar la conservación de la energía con la equivalencia entre masa y energía, que fue postulada por Einstein en su archiconocida ecuación $E=mc^2$.

Existe otra restricción en las desintegraciones que, aunque a menudo se considera implícita, resulta cuanto menos inquietante: cuando una partícula masiva se desintegra, aparecen en su lugar sólo partículas de unos pocos tipos determinados, y con las propiedades que les corresponden. El Universo tiene una imaginación limitada, y dispone sólo de un puñado de tipos de constituyentes, los que componen las citadas tres familias. Eso sí, es el azar quien elige en cada caso qué partículas han de *aparecer* entre esos tipos posibles, siempre cumpliendo las restricciones y *probabilidades* dictadas por las leyes físicas. Esta cierta dosis de aleatoriedad es en esencia la misma que Einstein aborreció (erróneamente), y que originó su conocida metáfora de “Dios no juega a los dados”.

Pero, ¿en qué formato está disponible este menú de constituyentes en el punto del espacio en que una partícula se desintegra? Existe un concepto matemático que representa un continuo de información que se extiende en todas direcciones: el de *campo*. Los campos físicos permean el espacio, uno para cada tipo de partícula, y tienen una interesante propiedad: su capacidad de producir *cuantos*, una especie de *grumos*, que identificamos con las partículas elementales. La física moderna está escrita en el lenguaje de los *campos con grumos*, o más propiamente, de los campos cuánticos.

La desintegración de una partícula es el resultado de su interacción con los campos. Podemos imaginarnos que la partícula original provoca la aparición de las partículas *hijas* al *pinzar* los campos, y provocar la aparición de sus grumos.

Las interacciones entre partículas, es decir, las fuerzas, se transmiten por el intercambio de otras partículas. Y estas transmisoras de fuerzas son, a su vez, los cuantos de ciertos campos. La fuerza electromagnética, por ejemplo, es transmitida por los fotones, que son los cuantos del campo electromagnético.

Unas pocas propiedades determinan cómo un tipo de partículas se relaciona con el resto del Universo. Algunas de estas propiedades, como la carga eléctrica o la masa, describen la intensidad con que la partícula siente cada tipo de fuerza fundamental. La masa describe la intensidad con que la partícula siente la fuerza gravitatoria, pero indica además cuánto cuesta cambiar su velocidad: a más masa, más resistencia al cambio de velocidad.

Es evidente que las partículas que forman la materia tienen masa: nuestra experiencia diaria nos muestra que los objetos materiales pesan, y que cuesta acelerarlos. Las partículas que transmiten algunas fuerzas nucleares también tienen masa, pero otros portadores de fuerza, como los fotones, no. ¿Qué hace que algunas partículas sean masivas y otras no?

Tenemos una respuesta, pero aún no sabemos si es la correcta. La formuló en los años 60 el físico teórico inglés Peter Higgs (e, independientemente, hasta cinco físicos más, a los que el comité Nobel tendrá que tener en cuenta si la respuesta se demuestra acertada). Higgs postuló la existencia de un nuevo campo que, como el resto, permearía todo el espacio. Este campo provocaría que el vacío fuera *percibido*

de manera diferente por los fotones y por las partículas portadoras de fuerzas que tienen masa, originando así la propia masa de estas últimas.

No sólo eso: el *mecanismo de Higgs* explica también el origen de la masa de las partículas de materia (electrones, quarks, etcétera). Una imagen imperfecta pero ilustrativa: la masa de las partículas, su oposición a ser aceleradas, estaría causada por algo parecido a una *fricción* de éstas con el campo de Higgs.

El mecanismo de Higgs realiza varias predicciones sobre las partículas portadoras de la fuerza nuclear débil, que han podido ser contrastadas satisfactoriamente en el laboratorio. Eso ha convertido este mecanismo en una pieza establecida del Modelo Estándar. Pero el mecanismo realiza una predicción adicional: el campo de Higgs, como el resto de campos, ha de poder producir *grumos*, ha de tener partículas asociadas. Dicho de otro modo, debe existir la partícula de Higgs, también denominada *bosón de Higgs* o, en el argot físico, simplemente *Higgs*. Pues bien, esta predicción aún no ha podido ser confirmada por la observación.

Pero, ¿cómo determinar si existe la partícula de Higgs? ¿Cómo *generar* un *Higgs*? O, en general, ¿cómo invocar los *cuantos* de los campos? ¿Cómo hacer aparecer partículas donde no las hay?

Ya hemos citado una manera: las partículas pesadas se desintegran dando lugar a otras más ligeras, que no existían con anterioridad. Pero esta no es una vía fructífera en física de partículas: las partículas más interesantes y exóticas son, casi por definición, las más masivas. Y ya dijimos que tras una desintegración no pueden aparecer partículas más pesadas que la original.

Existe otra vía, basada en un principio que puede parecer poco sutil: hacer chocar unas partículas contra otras. Cuando se produce una colisión, la energía del movimiento se libera y queda disponible para que se generen nuevas partículas. Como en el caso de las desintegraciones, la conservación de la energía sigue limitando la masa total de los productos de la colisión. Pero, en este caso, el límite lo pone la energía del movimiento y no la masa de las partículas originales.

La caza del bosón de Higgs se inició hace décadas, y cada nueva batida ocurre en un acelerador de partículas más potente que el anterior. El motivo de

esta escalada de energías de colisión es que la teoría predice la existencia de esta partícula, pero no el valor de su masa. En cada nuevo acelerador se puede explorar la existencia de una hipotética partícula de *Higgs* más y más masiva. Antes de comenzar a funcionar el LHC sabíamos que el *Higgs*, de existir, debía ser por lo menos más pesado que unos cien protones. Por un motivo simple: si su masa fuera menor, ya habría sido descubierto.

El LHC es el siguiente paso en esta escalada de energías. El mayor instrumento científico creado por la humanidad es una gran máquina circular que acelera protones en direcciones opuestas, y los hace chocar en cuatro puntos de colisión. Si la teoría de Higgs es correcta, en una ínfima fracción de las colisiones se producirá la ansiada nueva partícula. Las energías que proporciona LHC son tales que se podrá explorar la existencia del *Higgs* en todo el rango de masas teóricamente posible. Dicho de otro modo: si la partícula de Higgs existe, será descubierta en el LHC.

Para encontrar el *Higgs*, los físicos estudiamos las colisiones utilizando *detectores de partículas*: sofisticadas y gigantescas cámaras digitales que estudian las partículas que salen disparadas desde los puntos de colisión. Como las partículas de *Higgs* han de ser masivas, y por tanto inestables, se desintegrarían antes de poder alcanzar los detectores. Pero las partículas más ligeras originadas en las desintegraciones de los *Higgs* sí que han de poder alcanzar los instrumentos de detección, y dejar su huella en ellos. Es el estudio de estas hipotéticas huellas el que permite detectar la presencia del *Higgs* que se desintegró.

Entre los cientos de partículas que se producen en cada colisión, se buscan las combinaciones esperadas en la desintegración del *Higgs*. Si éstas no se encuentran con la frecuencia esperada, el mecanismo de Higgs habrá quedado invalidado. Al ritmo de funcionamiento actual del LHC, el momento de la verdad llegará, como muy tarde, a finales de 2012.

Si el mecanismo de Higgs no es la respuesta correcta a la cuestión de la masa, teorías alternativas, quizás menos *estéticas* matemáticamente, deberán ser consideradas y contrastadas con la observación. Pero sea cuál sea la suerte de este mecanismo, el apasionante trayecto de la física fundamental estará aún lejos de su destino final. Muchas cuestiones

quedarán aún por resolver, y de hecho el propio LHC puede acercarnos a sus respuestas. Algunas de estas cuestiones se han omitido aquí sigilosamente hasta este punto. Un ejemplo: sabemos que para cada tipo de partículas que hemos citado existe un tipo análogo pero con ciertas propiedades opuestas (por ejemplo, la carga eléctrica). Estas partículas constituyen la denominada antimateria, que es mucho menos abundante en el Universo que la materia. Pues bien, los físicos no entendemos cómo se ha podido llegar a un Universo abrumadoramente dominado por materia, partiendo de un *Bing Bang* que debió generar cantidades prácticamente idénticas de ambas.

Y un segundo ejemplo: tenemos buenos motivos para creer que las partículas de los tipos que conocemos sólo constituyen el 4% del contenido del Universo. El 96% restante lo componen las denominadas materia y energía oscuras. No sabemos casi nada en firme de una ni de otra, aunque sí que disponemos de algunas *buenas* teorías. De momento, ese apelativo se basa en su elegancia matemática y su simplicidad, y en nuestra experiencia de que las leyes físicas correctas son en general elegantes y simples. Sólo los experimentos, comenzando por los del propio LHC, nos dirán si alguna de esas teorías ha de ser incorporada a nuestra visión *estándar* del Universo.