

¿Qué es el Bosón de Higgs?

La mediadora maldita

Guillermo Mattei - gmattei@df.uba.ar

El 4 de julio 2012, los líderes científicos de los experimentos ATLAS y CMS del Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del CERN anunciaron, con resonancia mediática mundial, el acorralamiento de la partícula más buscada por los físicos desde su predicción teórica hace casi medio siglo: el Bosón de Higgs. En esta nota, un esbozo de popularización de la que primero fue partícula maldita y luego, la de Dios.

“Como no me parecían suficientemente rigurosas las analogías y metáforas de la divulgación científica actual para explicar qué es el Bosón de Higgs, entonces yo mismo construí una basada en conceptos e ideas de la economía que, considero, se ajusta muy bien a la descripción de la física, pero mis colegas me dijeron que les resultó más difícil de entender que la propia teoría (risas)”, declaró en Buenos Aires Juan Martín Maldacena, uno de los físicos contemporáneos más importantes del mundo y el más trascendente de la historia de la física argentina. “El del Bosón de Higgs es el tema más complicado de la Física para explicar de manera no técnica”, dijo Daniel de Florian, profesor del Departamento de Física de Exactas-UBA y uno de los más renombrados investigadores mundiales del tema, en una charla de divulgación para todo público. Pese a estas advertencias, enumeramos en esta nota ciertas ideas y conceptos físicos contextuales que permiten iluminar fugazmente el rostro de esta endiablada-mente esquivada partícula subatómica.

El uno

Desde los primeros científicos, la unificación de teorías y experimentos que

describen parcialmente el mundo ha sido un propósito perseguido con obsesión no sólo cognitiva sino estética. Copérnico y Kepler unificaron la Tierra con los demás planetas solares. Giordano Bruno unificó el Sol con las estrellas. Galileo y Newton unificaron el movimiento con el reposo. Darwin unificó las especies con un ancestro común. Maxwell y Faraday unificaron la electricidad y el magnetismo.

Con el electromagnetismo nació el concepto de *campo* como asignación de una cierta magnitud (un número, por ejemplo) a cada punto del espacio y a cada instante del tiempo. Esta idea notable permitió entender cómo las fuerzas se transmiten entre objetos separados a grandes distancias y, aún, en el vacío. La teoría de los campos eléctricos y magnéticos encontró un marco natural dentro del cual formar parte en la Teoría Especial de la Relatividad, donde el escolar espacio de la geometría euclidiana entrelaza al tiempo y donde la relatividad del observador y la invariancia de la velocidad de la luz son características dominantes.

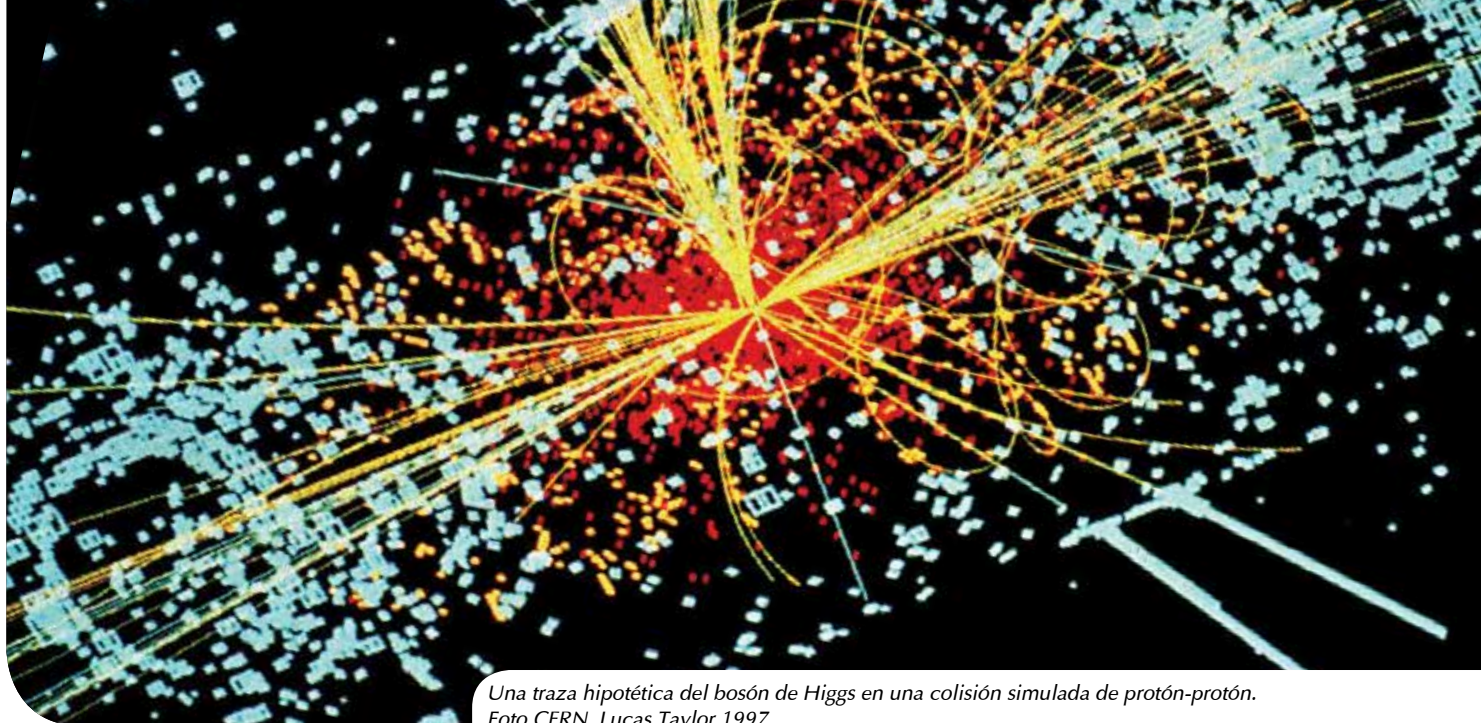
El acontecimiento unificador posterior fue el matrimonio entre la Mecánica Cuántica y el Electromagnetismo o, por lo anterior, la unión civil con la Relatividad Especial, de la cual nació una hija: la Teoría Cuántica de Campos. En el esce-

nario cuántico, entidades tan antitéticas como las partículas y los campos son manifestaciones de una misma realidad o, más técnicamente, son *complementarias*. Particularmente, en el esquema unificado de la llamada Electrodinámica Cuántica es donde se modelizó elegantemente la interacción entre los fotones electromagnéticos y partículas cargadas tales como los electrones y los protones.

La electrodinámica cuántica permitió entender fenómenos bien manipulados experimentalmente, relacionados con las llamadas fuerzas nucleares *fuerte* y *débil* que, junto al electromagnetismo y a la gravedad, cierran el cuarteto fundamental de la realidad toda. En este último proceso de creación de conocimiento surgieron dos nuevos principios: las Teorías de Gauge (TG) y la Ruptura Espontánea de Simetría (RES).

De gauge y simetrías

Gauge es un verbo del idioma inglés que significa calibrar o medir y que la comunidad mundial de físicos decidió no traducir a las diferentes lenguas. La noción de gauge en Física sirve para denotar la característica en común que tienen el electromagnetismo, la fuerza nuclear fuerte y la fuerza nuclear débil, y para



Una traza hipotética del bosón de Higgs en una colisión simulada de protón-protón. Foto CERN. Lucas Taylor 1997.

entender cómo puede unificarse a estas tres fuerzas aún siendo bien diferentes.

Las TGs están relacionadas con una idea todavía más básica que las fuerzas: la *simetría*. En Física, una operación que preserva el comportamiento de un sistema bajo estudio en relación al mundo exterior, es *simétrica*. Ejemplo: la operación de rotar un ángulo arbitrario alrededor de un eje cualquiera al sistema de una esfera no produce variaciones evidentes en relación al entorno. También hay simetría cuando se cambian las condiciones de un experimento y el resultado no cambia. Si en el *experimento* de respetar y garantizar los derechos laborales se pueden intercambiar varones y mujeres y el resultado es el mismo, entonces la interacción de varones y mujeres con los derechos laborales es *simétrica*. “Las leyes de la física exhiben simetría, y las simetrías son el origen de las leyes de la física”, explica De Florian.

Si quisiéramos estudiar la evolución de un electrón moviéndose libremente a medida que transcurre el tiempo, no podremos usar lo que nos enseñó Newton sobre las trayectorias de las partículas, donde “posición” y “velocidad” se conocen simultáneamente. Son las complejas leyes de la mecánica cuántica las que dictaminan que a este electrón lo caracterice una función matemática, que toma valores entre los números complejos, llamada *función de onda*. Daniel de Florian aclara: “no podremos representar la posición del electrón en función del tiempo como un punto en un diagrama cartesiano (x, t) sino como una flechita, dado que los números complejos tienen dos componentes, como los vectores del plano o, equivalentemente, una longitud y un ángulo de inclinación respecto del eje horizontal”. En mecánica cuántica, la longitud de ese vector complejo indica la probabilidad de encontrar al electrón

en esa posición y en ese instante. Luego, en un diagrama (x, t) podemos tener una distribución de muchos vectorcitos describiendo lo que hace el electrón que viaja libremente”, explica De Florian, y luego se pregunta: “Las ecuaciones de la física que describen este comportamiento, ¿dependerán del ángulo o la dirección de esos vectorcitos?”.

Lo que los físicos saben es que si a todos los vectores del diagrama se les cambia el ángulo en una misma cantidad de grados, es decir, si se los rota de idéntica manera, las ecuaciones no cambian. En otras palabras, hay una simetría intrínseca en esa transformación con una consecuencia física muy profunda: cualquiera sea la interacción, la *carga eléctrica* se mantiene siempre constante, no se crea ni se destruye o, en la jerga: “se conserva”. Sin embargo, si en lugar de rotar todas las flechitas de la misma manera, cada una lo hace de manera diferente pero de modo que el resultado final sea que todas apunten en una única dirección, “¿las ecuaciones de la física son simétricas ante este cambio?”, pregunta De Florian y responde: “No. No hay simetría en esta transformación. Es como tener una esfera con un pequeño agujerito en su superficie que hace que las rotaciones arbitrarias ya no nos parezcan indistinguibles tal como lo eran antes”.

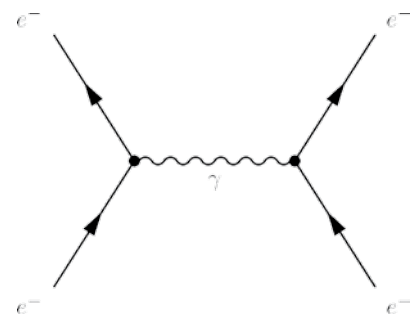
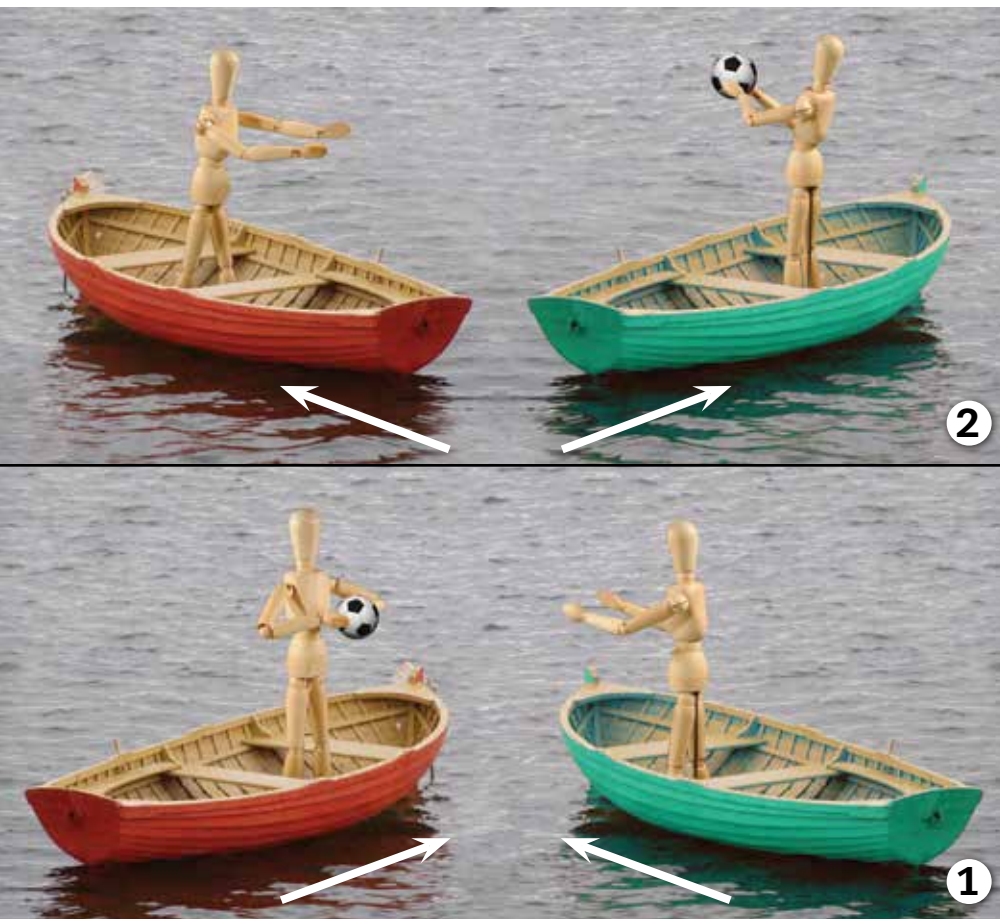
Ahí, los físicos se preguntaron: “¿podremos cambiar las ecuaciones para que esta transformación también sea simétrica? o, metafóricamente, ¿podremos “ponerle” el pedacito de esfera que falta para tapan el agujerito?”. Los desarrollos teóricos al respecto dictaminaron que lo que faltaba para solucionar esta asimetría era agregar al esquema un fotón electromagnético.

“En resumen, pedir esa simetría a las leyes de la física equivale a pedirles que

incluyan a todo el electromagnetismo”, explica el experto. El electromagnetismo, largamente conocido, tenía así un origen ahora bien comprendido.

Las propiedades de simetría les proveen a los físicos poderosas herramientas para conocer parcialmente las interacciones o las fuerzas involucradas. Sin embargo, existen algunas situaciones especiales en las que las simetrías determinan por completo a las interacciones y, ese es uno de los descubrimientos más importantes de la Física del siglo XX. Particularmente, los físicos aprendieron que existen partículas mediadoras de la interacción, llamadas *bosones de gauge*, que transportan a las fuerzas involucradas.

El electromagnetismo, la fuerza nuclear fuerte y la débil encarnan las anteriores interacciones y sus mediadores son el fotón, el gluón y los bosones débiles. Daniel de Florian recurre a una metáfora para ilustrar este mecanismo: “Cuando dos electrones van a chocar, la fuerza de repulsión eléctrica entre ellos los desvía o, equivalentemente, intercambian un fotón. Es como si dos navegantes idénticos sobre botes sin remos, pero lanzados en trayectorias convergentes, quisieran evitar el choque. La maniobra implica que uno de los navegantes debe tomar una pelota, que casualmente está en su bote, y tirársela al otro navegante de modo que, por el newtoniano principio de acción y reacción, cada uno experimente una fuerza lateral que logrará cambiar las trayectorias a divergentes evitando así el choque (ver gráfico). La pelota es la mediadora de la fuerza entre los dos botes. Dado que el fotón no tiene masa, es una pelota que puedo tirar tan lejos como yo quiera; en otras palabras, el alcance de la fuerza electromagnética es infinito”.



Los dos botes como representación esquemática de la interacción por intercambio de partículas mediadoras

De todas maneras, no todo esfuerzo unificador es claro, intuitivo y directo, ya que la fuerza electromagnética tiene alcance infinito y partícula mediadora de masa nula, mientras que las nucleares tienen alcances muy cortos y partículas mediadoras muy masivas. Daniel de Florian agrega: “En el caso de la fuerza nuclear débil, sería como tirar una pelota muy pesada entre los dos botes, lo cual funciona para evitar la colisión sólo si están muy cerca”. Sin embargo, los físicos no abandonaron por esto sus pretensiones de unificar estas fuerzas pese a ser claramente diferentes.

Tal vez, supusieron los teóricos, las leyes tengan una simetría que no es respetada por todas las características del mundo al que se aplica. Por ejemplo, el programa de materias de la licenciatura en Física de Exactas-UBA se aplican por igual a todos los alumnos ingresantes, lo que podemos entender como una simetría del programa. Aunque sustituyamos un alumno ingresante por cualquier otro, no cambiaremos el programa que todos deben respetar para graduarse: todos tendrán que aprobar parciales y respetar correlatividades. Pero esta simetría frente al programa no demanda o exige iguales circunstancias para todos. Algunos alumnos son más capaces que otros: algunos obtienen

buenas notas y, de entre estos, algunos logran superar los promedios históricos. Si bien hay simetría inicial en las oportunidades de la cohorte, a medida que transcurren las cursadas, esta se pierde: algunos pocos ingresantes se convierten en Zaldarriagas o Maldacenas, otros, en destacados físicos internacionales, y la mayoría, en graduados bien formados.

Espontánea ruptura

A medida que pasa el tiempo, la simetría se rompe a causa de las circunstancias intermedias, pero de una manera difícil de predecir. En estos casos, los físicos dicen que la simetría se rompe “espontáneamente”, lo cual es el pilar del llamado Modelo Estándar de las partículas elementales. Para metaforsar estas situaciones, la idea de un lápiz parado por su punta es adecuada: tiene simetría perfecta pero gran inestabilidad, mientras que, caído por razones azarosas, ya no exhibe simetría, pero sí una situación estable.

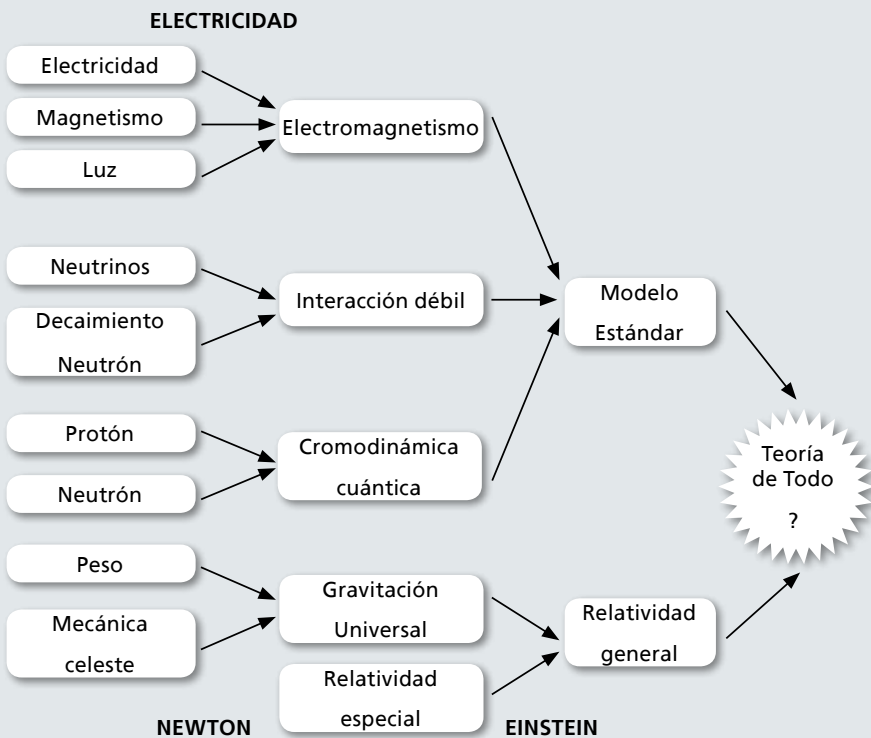
“Partículas materiales y partículas mediadoras: ese es el esquema compacto que describe a las partículas elementales en relación a tres de las cuatro fuerzas fundamentales de la realidad, deducidas y medidas a partir de los poderosos principios de simetría”, afirma De Florian. Pero esta economía de ecuaciones tiene

su costo; aparece una restricción importante: las masas de todas las partículas elementales deben ser nulas. Esto último es un inconveniente lógico si tuviéramos que pensar en resignar la medida experimental de la masa del electrón o los alcances conocidos de las tres fuerzas que definen nuestro mundo actual.

Esta RES es lo que ocurre con las partículas de las teorías de gauge y es la responsable de las diferencias finales entre las tres fuerzas básicas, excluyendo a la gravedad. Tras la ruptura, los alcances de las fuerzas se diferencian entre sí. Esta combinación de RES y TGs es lo que los físicos denominan “mecanismo de Higgs”, que incluye la existencia de una partícula llamada Bosón de Higgs.

Con estas ideas, los físicos lograron modelizar y medir experimentalmente la unificación del electromagnetismo y la fuerza nuclear débil, o fuerza electrodébil, y predecir la existencia de primos bosónicos del fotón llamados W^+ , W^- y Z . La conclusión es que las propiedades de las partículas elementales no dependen sólo de las ecuaciones de la teoría, sino también de cuál de las soluciones es aplicable a nuestro universo. En la RES existe una cantidad física, particularmente un campo, cuyo valor indica que la simetría se ha roto y cómo se ha producido esa ruptura:

HISTORIA DE LA UNIFICACIÓN DE LAS INTERACCIONES

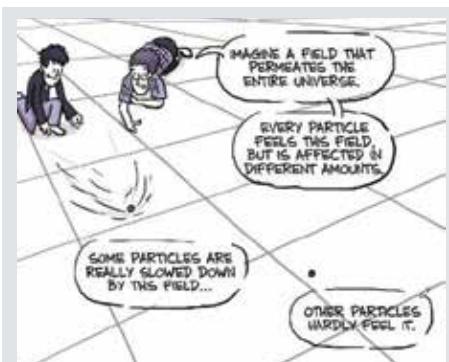


Una expedición al mundo subatómico, Daniel de Florian, EUDEBA (2007), página 130.

PARA LEER, VER Y ESCUCHAR

- *Una expedición al mundo subatómico*, Daniel de Florian, EUDEBA (2007)
- "El bosón que mueve multitudes", Portal Noticias Exactas (2012)
- *El sueño de una teoría final*, Steven Weinberg, Editorial Crítica (1992)
- *Las dudas de la física en el siglo XXI*, Lee Smolin, Editorial Crítica (2007)
- "The Higgs Boson Explained" (<http://vimeo.com/41038445>), PHD Comics, CERN, (2011)

"el campo de Higgs". De hecho, la unificación electrodébil exige la presencia de un campo de Higgs y que éste se manifieste como una partícula elemental, el Bosón de Higgs, mediador de la interacción asociada a ese campo. Sin embargo, como la teoría no permite predecir la masa del Bosón de Higgs, fue el colosal experimento del LHC el que la logró fijar en 125 gigaelectronvoltios.



- Imaginá un campo que permea todo el universo. Si bien cada partícula siente este campo, están afectadas por diferentes intensidades.
- Algunas partículas son realmente desaceleradas por este campo...
- Otras partículas apenas lo sienten.

The Higgs Boson Explained.
PHD Comics, CERN, (2011).

De Florian continúa: "La interacción de todos los actores –partículas materiales y mediadores sin masa, más el Bosón de Higgs– tiene lugar en un escenario determinado. ¿Cuál?, el vacío. El vacío no es simplemente la nada misma sino que, desde el punto de vista cuántico, es un mundo fascinantemente complejo. Pero un electrón sin masa atravesaría el vacío a la velocidad de la luz, y el vacío es simétrico frente al intercambio de partículas sin masa. ¿Quién rompe esa simetría? El Bosón de Higgs.

El Bosón de Higgs y su campo son como un fluido que impregna todo el vacío; luego, el movimiento de toda partícula elemental en el vacío estará condicionada por la interacción con aquél. Si partícula y bosón interactúan poco, la partícula se moverá rápido, tendrá poca inercia y su masa será pequeña. Caso contrario, la masa de la partícula interactuante con el Bosón de Higgs será grande y su inercia mayor". Metafóricamente, el vacío operará, en este caso, como un gran mantel de Higgs que dificultará el movimiento de bolitas grandes mucho más que el de pequeñas, ambas echadas a rodar sobre él.

Hágase la masa

En conclusión, los físicos aprendieron que todas las partículas del modelo

estándar, excluyendo a la partícula de Higgs, adquieren sus masas a partir de la ruptura de la simetría entre las fuerzas débil y electromagnética. Si esa ruptura no existiera, entonces el electrón y las partículas W^+ , W^- , Z y todos los quarks –componentes del neutrón y el protón– quedarían, como el fotón, sin masa. El problema de comprender las masas de las partículas elementales conocidas es, por consiguiente, una parte del entendimiento del mecanismo mediante el cual la simetría electrodébil se rompe espontáneamente. La partícula de Higgs es la única partícula cuya masa aparece directamente en las ecuaciones de la teoría, mientras que la ruptura de simetría electrodébil da a todas las demás partículas masas que son proporcionales a ella.

Vista la libre y profusa interpretación mediática del colosal descubrimiento del LHC, el experto Daniel de Florian finaliza enumerando varias aclaraciones: "El Bosón de Higgs no es la partícula que da origen al universo, si bien se la encuentra en ese instante primordial; tampoco es el motivo por el cual nosotros tenemos masa. Es la razón por la cual las partículas elementales la tienen y, finalmente, no es la partícula divina, tal como el editor de un libro de divulgación del Nobel de física León Lederman decidió rebautizarla 'con criterio comercial' contrariamente a la certera caracterización del autor como la *partícula maldita*".

Ni divina, ni maldita. La última pieza del rompecabezas de las partículas elementales. | =