

Conferencia 25 de septiembre 2012

“Descubrimiento de un nuevo bosón (de Higgs?) en el experimento ATLAS en el colisionador LHC del CERN”

D. Antonio Ferrer Soria

Catedrático de Física Atómica, Molecular y Nuclear de la Universitat de València-E.G.
Vicepresidente de la Real Sociedad Española de Física.
Investigador del IFIC (CSIC-UVEG)

El título de esta charla contiene una pregunta: ¿lo hemos conseguido?. Vamos a hablar del descubrimiento de un nuevo bosón, pero ¿será el predicho por Higgs?. La charla va a girar en torno a cuatro palabras mágicas: el instrumento ATLAS en el colisionador LHC del CERN. Voy a tratar de que todo el mundo entienda el significado de esos cuatro nombres. En la presentación se ha hablado de Einstein, de quien se conocen innumerables anécdotas. En una de ellas, que a veces se atribuye a otro gran físico, nos dice que todo aquello que no seas capaz de explicarle a tu abuela es que no lo has entendido bien. Yo voy a tratar de exponer en lenguaje cotidiano problemas de los que en general sólo hablamos en las aulas y entre especialistas.

Me encontraba en Melbourne cuando saltó la noticia. Tuve que asistir a la presentación de los seminarios en el CERN en los que se anunciaba el descubrimiento de este bosón. Estaba emocionado, era un sueño, porque aunque formo parte del experimento que lo descubrió, puedo asegurar que no hubo secretismo pero sí cierta confidencialidad. Hasta el último minuto no supimos exactamente el alcance de ese descubrimiento, los datos numéricos exactos. Pero fue realmente un gran descubrimiento, que se reflejó en la primera página de la prensa internacional desde el New York Times a El País.

Aunque esta charla es para la Real Sociedad Económica, quiero también dedicarla al grupo ATLAS de Valencia, un grupo de investigadores que ha creído en esta iniciativa y lleva trabajando en ella incansablemente desde el año 1992. Además de los treinta y ocho investigadores que firman el trabajo, siempre ha habido un gran núcleo de ingenieros que han estado apoyándonos, colaborando, realizando trabajos de investigación y desarrollo, diseño y construcción. Estos últimos veinte años han visto muchos físicos, muchos jóvenes que han conseguido una tesis doctoral, que han estado trabajando en la Universidad de Valencia, en el Instituto de Física Corpuscular, en el experimento ATLAS. Para nosotros esto constituye un gran honor.

Globalmente éste es un proyecto de más de tres mil millones de Euros. La máquina y el aparato que hemos construido vale más de quinientos millones de Euros. En Valencia hemos contribuido con alrededor del 1%. Es una contribución notable, y aunque somos un pequeño grupo la aportación ha sido realmente relevante.

El concepto físico que guía esta conferencia se basa en la confluencia, a lo largo del siglo XX y en especial en los últimos treinta años, de dos grandes disciplinas de la Física. Una es la Física de partículas, que es mi especialidad, y que ha tratado de contestar a las preguntas ¿de qué está hecho el universo?; ¿de qué estoy hecho yo?; ¿de qué están hechas todas las estrellas?; ¿qué es lo que hay por ahí afuera?.

Por otra parte la Cosmología, que los últimos treinta años ha experimentado un gran avance, cuyas preguntas son ¿de donde viene el Universo?; ¿cómo nació?; ¿cómo se originó?; y ¿cómo evolucionó hasta hoy?. Y eso nos hace pensar ¿cómo es posible que estas dos materias se complementen y se hayan compenetrado en los últimos años?. Dos problemas pendientes aparecen de la unión entre las dos teorías, y son el Bosón de Higgs y la materia oscura. Son los temas de los que voy a hablar, y ellos solos justifican los tres mil millones de Euros de inversión que han hecho todos los países del mundo. Porque esto es una aventura mundial, un proyecto global, no sólo es Valencia y sus colaboradores, es el mundo entero el que ha participado.

Así que voy a empezar, por situar el problema, hablando de qué es la Física de partículas y la Cosmología. La Física de partículas trata del estudio de lo infinitamente pequeño. La Física de partículas corresponde al microcosmos, y busca los componentes fundamentales de la materia. Tiene por misión encontrar de qué está hecha, cuales son sus últimos constituyentes. Estudia como funcionan las interacciones, y para ello necesita de una muy alta energía. La misma energía que contenían las partículas que existían una fracción de segundo después del Big Bang. Es una teoría muy ambiciosa, que quizá algún día llegue a explicar del todo lo que vemos en la materia.

La Cosmología estudia el origen del Universo, el llamado Big Bang, y describe su evolución hasta hoy. Y como hemos dicho, en las últimas tres décadas se ha conectado con la Física de partículas, en una asociación realmente espectacular. La Física de partículas ha llegado a estudiar la materia hasta tamaños mil veces más pequeños que un nucleón. El tamaño de un protón, que constituye los núcleo atómicos, es diez a la menos dieciocho metros, $0,000000000000000001$ metros. Y por la otra parte, el Universo, desde que nace se expande y hoy llega a tener un tamaño de diez a la veintiséis metros, es decir, enormemente grande. Estas dos disciplinas se están realimentando la una a la otra. La Física de partículas, que ha llegado a diez a la menos dieciocho metros, necesita de aceleradores de partículas, que son como microscopios y constituyen la única forma de estudiar los átomos, los núcleos y las partículas más elementales. De la misma forma, los telescopios ópticos y los radiotelescopios han permitido conocer las propiedades del Universo a escalas de diez a la veintiséis metros. Hoy hemos resuelto ya el problema, al menos hasta diez a la dieciocho metros, a la pregunta de que está hecha la materia. Por ejemplo, esta mesa es un conjunto de moléculas, las moléculas están hechas por átomos, los átomos están compuestos por núcleos y electrones, los núcleos están hechos de protones y neutrones, los protones y

los neutrones están hechos de quarks, y los electrones son una de las categorías de leptones.

Hemos llegado por lo tanto a tener una visión completa de cuales son los ladrillos del Universo, los que componen la materia, y también conocemos las fuerzas que se ejercen entre ellos. Esos quarks y leptones, que son los constituyentes elementales de la materia, interaccionan mediante cuatro fuerzas solamente. A la primera de ellas la llamamos electromagnética, y es responsable de la electricidad, de la interacción entre imanes, de la interacción entre cargas magnéticas. Hoy en día interpretamos la fuerza eléctrica como debida a una partícula. Es decir, las fuerzas también son partículas, y esa partícula es la que llamamos fotón. La luz que vemos está compuesta de un número enorme de fotones que nos están bombardeando, y gracias a esos fotones estamos viendo la luz.

La segunda interacción es la que une los protones dentro de los núcleos, y la llamamos interacción fuerte. Los quarks que componen los protones y neutrones interaccionan intercambiando una partícula, que también ha sido descubierta y que llamamos gluón. Es un pegamento muy fuerte, y por eso los neutrones y los protones forman un estado muy concentrado de la materia.

La tercera fuerza es la que explica el porqué el núcleo de Cobalto se desintegra, el Uranio se desintegra, y también el Tritio y el Carbono catorce. Es la responsable de las interacciones débiles, y hemos descubierto los tres bosones intermediarios que la explican. La cuarta, la fuerza más conocida pero la menos útil para lo que explicamos hoy, es la fuerza gravitatoria. La fuerza que describió Newton primero, y después Einstein con su teoría, y que de momento no podemos colocar dentro de los esquemas que hoy presentamos.

Todo lo que sabemos sobre Física de partículas se engloba en el denominado Modelo Estándar. Éste incluye seis quarks, seis leptones, doce bosones intermediarios, y una partícula escalar llamada Bosón de Higgs, el misterioso Bosón de Higgs.

El Modelo Estándar se sustenta sobre tres pilares teóricos: la mecánica cuántica, la relatividad y las teorías simétricas o gauge. Y contiene tres ingredientes: las partículas, que son los quarks y los leptones; las fuerzas, el cemento que une las partículas; y el Bosón de Higgs, la pieza que faltaba y que tiene una importancia capital. Veré si soy capaz de superar la apuesta y hacerlo inteligible para mi abuela, porque es la partícula cuya misión no es ser ni ladrillo ni cemento, sino ser la responsable de que cada partícula tenga masa. La masa gravitatoria, que hemos comprobado que poseen todas las partículas excepto dos, el fotón y el gluón.

Como curiosidad diremos que las partículas de masa nula, que viajan a la velocidad de la luz, no interaccionan con el Bosón de Higgs. Cuando el Higgs interacciona con una partícula le hace pagar un peaje, le da masa, lo cual le obliga a viajar más despacio que la velocidad de la luz. El Bosón de Higgs sería

una partícula que llena todo el Universo, y cuando aparece otra partícula le da la masa. Sin el Bosón de Higgs, en el Modelo Estándar todas las partículas tendrían masa nula, lo cual contradice los resultados de los experimentos y las observaciones. El modelo de Higgs resuelve este problema, al dar masa a las partículas

Otro plus es que cada partícula conocida tiene una imagen en el Universo de la antimateria. Cada partícula tiene su antipartícula, y las hemos ido encontrando todas. Los quarks y leptones tienen sus antipartículas, y los bosones intermediarios también las tienen. El Higgs es su propia antipartícula, y por tanto encaja en este modelo, para cada partícula existe su antipartícula. Por otra parte, se supone que en el Big Bang se produjeron tantas partículas como antipartículas, y por tanto tanta materia como antimateria. Sin embargo, por más que observamos el Universo, jamás se ha detectado antimateria en cantidades macroscópicas. Podemos decir que afortunadamente, porque la antimateria tiene la virtud de que cuando encuentra materia ambas se aniquilan mutuamente convirtiéndose en luz, con lo que la materia desaparece. Así que mejor que no tengamos antimateria en el vecindario. Pero esto crea un problema: ¿por qué en el Universo sólo vemos materia y no antimateria?.

Otra curiosidad que vale la pena resaltar para medir el impacto de esta teoría es que treinta y tres de los científicos que han contribuido a desarrollarla han obtenido el Premio Nobel, a lo largo de los aproximadamente cien años en los que se otorga este galardón.

Abordamos ahora la figura y la contribución de Peter Higgs, físico escocés que en el año 1964 propuso una solución para el grave problema que afectaba al Modelo Estándar. El modelo no funcionaba porque suponía que todas las partículas tenían masa nula. Higgs postuló la existencia de una partícula hipotética, de la cual no conocía su masa. Proponía que era una partícula escalar, es decir, que tenía un spin cero, un número cuántico que sirve de ayuda para que los físicos puedan detectarlo. Como hemos dicho, es probable que esta partícula sea la que se acaba de encontrar en el LHC.

El nombre de Higgs se ha utilizado para bautizar esta nueva partícula, pero no es él la única persona que ha descrito el mecanismo por el cual el bosón da masa a las partículas y resuelve el problema del Modelo Estándar. No menos de cinco autores han contribuido a ello, lo que va a dificultar enormemente la atribución del Premio Nobel correspondiente al descubrimiento del Bosón de Higgs

Pasamos a explicar ahora lo que es el Bosón de Higgs. Lo describimos como un campo de fuerzas, que gráficamente tiene una forma como de sombrero mejicano. Si situamos un objeto en el centro del sombrero, sobre la elevación que correspondería a la cabeza de su usuario, estaría en una situación que llamamos de equilibrio inestable: si tocamos ligeramente el objeto éste se caería, y quedaría en cualquier otro punto del sombrero. Se produciría lo que se llama una rotura espontánea de la simetría.

Otro símil que ilustra el concepto de rotura espontánea de la simetría es el siguiente: imagínense una mesa redonda, alrededor de la cual están sentados los comensales. Para cada uno de ellos hay dispuesto un trozo de pan. De repente, un comensal coge el panecito que está a su izquierda, y automáticamente todos los comensales están obligados a coger el de la izquierda, porque si cogen el de la derecha habrá un problema. ¿Qué es lo que ha hecho el comensal que ha cogido el pan por primera vez?. Ha roto espontáneamente la simetría. Esa es la palabra mágica que explica el mecanismo de Higgs.

Además, ese mecanismo de Higgs tiene como consecuencia que el campo, en vez de ser cero, vale la distancia que hay desde el centro hasta la base del sombrero. Ese campo está poblando el vacío, y es un campo que tiene un valor, distinto de cero. Ese valor del campo de Higgs hace que cuando llegue una reacción, se cree un electrón, se cree un quark o se cree un bosón, éste tiene que interaccionar con el campo de Higgs que lo permea todo, que se da cuenta de cual es la partícula recién creada y le da su masa.

Ahora voy hablar de Cosmología brevemente, y voy a tratar dos momentos de la historia del Universo. La teoría que hoy aceptamos es el modelo del Big Bang, que supone que el Universo nació en un instante a partir de una gran explosión. En ese instante el Universo era denso y caliente, y a partir de entonces se creó el tiempo, se creó el espacio y se creó la energía, se creó la materia, se crea todo lo que conocemos. Y ese Universo empieza a expandirse, el espacio empieza hacerse grande y el tiempo va contando. De resultas de la expansión el Universo se va enfriando, y se van sucediendo los fenómenos que se explican con el Modelo Estándar. Aparecen momentos críticos en los que se sabe, por ejemplo, que los quarks se van agrupando y se forman los protones y los neutrones. O más tarde, cuando se forman los átomos, el Universo se hace transparente y la luz empieza a viajar. Y hoy, catorce mil millones de años después, observamos un Universo frío, observamos el vecindario del Sistema Solar, medimos las propiedades de los planetas, de las galaxias, etc.

Pero si lo que queremos es estudiar el Universo primitivo, una billonésima de segundo después del Big Bang, necesitamos reproducir el espacio casi puntual y el plasma muy caliente que había entonces. Y es eso lo que consigue el LHC, y por eso lo bauticé como "máquina del Big Bang". Porque el acelerador, cada vez que hay una colisión de haces, reproduce lo que pasaba en la sopa primitiva de quarks y leptones, de fuerzas que interaccionan entre ellas, de Higgs que aparecen y desaparecen, que dan y que quitan masa. Aquí radica la importancia de los aceleradores de partículas, que nos permiten ir hacia atrás en el tiempo y nos acercan al momento en el que el Universo empezó. Si no sabemos explicar lo que pasó allí, no podremos entender lo que pasa aquí. Los cosmólogos nos ayudan a recorrer al camino desde hoy hacia atrás, y los físicos de partículas explicamos como se fue desde el inicio hacia

adelante. Ésta es la compenetración a la que me referí entre Cosmología y Física de partículas.

Una curiosidad a resaltar es que los cosmólogos, a partir de todo lo que les hemos dado los físicos de partículas, sólo son capaces de explicar el 5% del Universo. Esto incluye las galaxias que vemos, las estrellas. Hay 80.000 millones de estrellas en una galaxia media, y hay una gran cantidad de galaxias. Todo eso que está formado por átomos, moléculas, quarks, leptones, es lo que llamamos materia bariónica ordinaria, de la que también estamos formados nosotros mismos. Aquí nos damos cuenta de que los físicos estamos muy mal, pues aún queda un 95% que no sabemos lo que es. Parte de eso, el 21% aproximadamente, se puede detectar por sus efectos gravitatorios, aunque no se vea. Es lo que llamamos materia oscura. La cantidad de materia oscura está muy bien medida, porque cuando se estudia el movimiento de las galaxias se encuentra que hay mucha materia, en su centro y en sus bordes, que no se ve, no da luz, no interacciona, pero tiene masa, mucha masa, y hace que las estrellas se muevan a gran velocidad lejos del centro de la galaxia.

Al restante 74% lo llamamos energía oscura. Vemos por tanto que la materia normal es minoritaria. Esto es como una segunda revolución copernicana, ya que ni estamos en el centro del Universo ni estamos hechos de la materia mayoritaria en el Universo. La materia predominante todavía no la vemos, no sabemos lo que es, y esto justifica que nos hayamos gastado tres mil millones de Euros para construir el LHC, porque creemos que es una de las vías para poder encontrarla.

A continuación voy a hablar del centro, el CERN, que ha sido mi vida durante tantos años. Empecé a trabajar allí el mismo año en que Higgs publicó su estudio. Yo era un estudiante en 1964, diez años después de que el CERN fuera fundado. Su historia es muy interesante, y voy a presentar cuatro ideas fundamentales sobre ella.

Es un laboratorio de investigación modélico, uno de los centros científicos más exitosos. Fue fundado por doce países, y en la actualidad hay veinte estados miembros y muchos más países que asociados, que incluyen EE.UU., Japón y Rusia. Es por tanto un centro global. Hay 10.400 usuarios, lo que supone entre el 10% y 20% de los físicos de partículas en el mundo. A ellos hay que añadir los tres mil que trabajan en el CERN. El presupuesto anual es de mil millones de Euros.

España fue estado miembro de 1961 a 1968, y gracias a eso yo fui allí. Pero el general Franco nos sacó del CERN, hasta que en 1983 volvimos a entrar. La contribución de España está escalada de acuerdo con su producto interior bruto, y asciende al 8% del presupuesto total, lo que supone setenta y tres millones de Euros al año. Lamentablemente en la actualidad España no está pagando su cuota.

El CERN es la sede de la cadena de aceleradores más compleja del mundo. Se tuvo la sensatez, que no tuvieron los americanos, de construir una batería de aceleradores. En los años cuarenta se construyó el sincrotrón PS, el más grande del mundo en la época. Cuando se proyectó el nuevo SPS, no se pensó en deshacerse del anterior, sino utilizarlo como pistola para alimentar el nuevo. Se construyeron en cadena, como las muñecas rusas, de forma que el de dentro alimenta al de fuera. Con el LEIR y el LHC se mantuvo la misma idea, y así hoy en día nos encontramos con diez aceleradores en cadena.

Los proyectos más importantes del CERN en la actualidad son el haz de neutrinos que se envía a Italia, y que ha dado lugar al famoso experimento de los neutrinos superlumínicos que al cabo de un año fue desmentido, y el propio LHC, el gran acelerador de hadrones. En él se encuentra el detector ATLAS, en el cual nuestro equipo de Valencia trabaja desde el año 2000.

En las larguísimas galerías que albergan el LHC la gente se tiene que desplazar en un vehículo eléctrico. Los imanes del acelerador son una pura maravilla tecnológica, tienen un campo magnético de 8,3 TeV, una auténtica barbaridad. El imán más intenso con el que he trabajado en veinte años, el imán más potente, tenía un TeV, y se creía que era como el fin del mundo. Y aquí hay veintisiete kilómetros de imanes de 8,3 TeV. Doscientos treinta y dos imanes, de catorce metros de largo. Un buen ejemplo de cómo la ciencia impulsa el desarrollo de tecnologías que en otro contexto serían impensables. El juego de los campos magnéticos, la temperatura a la que se funciona, todo es pura magia tecnológica. El vacío en su interior es de diez a la menos nueve atmósferas, diez veces menos denso que la tenue atmósfera de polvo que hay en la Luna.

La energía de los haces de protones que circulan por el acelerador equivalen a la del AVE a doscientos kilómetros por hora. La energía química sería equivalente a ochenta kilos de TNT. Si el haz se tirase sobre quinientos kilos de cobre los derretiría como el chocolate en el horno. El consumo de electricidad para que funcione el LHC es la décima parte de la producción de una central nuclear cercana a Ginebra.

El acelerador transporta los protones, la partículas, a gran velocidad. Lo que queremos los físicos es estudiar la colisión, cuando el haz que viene en un sentido se encuentran en un punto con el haz en sentido contrario, y ahí se produce la gran explosión. En cada explosión de este tipo aparecen dos mil partículas, y queremos estudiarlas todas, saber exactamente ahí que pasó. Tenemos que medir muchas cosas, las energías, los momentos, de todas las partículas que se producen en la colisión. La fórmula de Einstein nos dice que la energía y la masa son equivalentes. Entonces, en ese punto en el cual se produce una gran concentración de energía, la teoría dice que las partículas que vamos sacando del vacío se encuentran con el campo de Higgs, el campo de Higgs identifica quien es cada una por como interacciona, y le da la masa correspondiente.

El experimento ATLAS, al que hemos dedicado 20 años de trabajo, es un objeto que mide 25 por 46 metros, pesa siete mil toneladas métricas, lleva tres mil kilómetros de cables, y tiene cien millones de ojos, de cámaras que detectan el paso de las partículas. ¿Cómo se comportaría un Higgs en este detector?. Se ha calculado que en las colisiones debería producirse un Higgs por cada billón de reacciones, es como buscar una aguja en un pajar. Se producen del orden de mil sucesos por segundo, cuyos datos son registrados. Cada suceso aporta varios megabytes de información. El LHC funcionando durante un año produce un petabyte de datos, el equivalente a la capacidad de 20 kilómetros de CD-ROMs uno encima de otro.

Hacer funcionar este sistema llevó al desarrollo del World Wide Web. Sobre él se ha construido una nueva red llamada GRID, en la cual nuestro grupo de Valencia participa, y que da servicio a todo el mundo conectando ordenadores para tratar los datos que se envían desde el CERN. Diez horas después del choque de los protones ya tenemos los datos en Valencia, o en San Francisco o en Chicago, y podemos empezar a hacer los cálculos para desentrañar las reacciones. En la red GRID tenemos del orden de cien mil ordenadores distribuidos por todo el mundo.

El descubrimiento del Higgs comenzó a fraguarse a partir de la detección de un bosón con una masa de 126 GeV, lo cual equivale a una cantidad de energía muy grande, es 135 veces la masa del protón. Esta masa es compatible con las predicciones teóricas. La teoría predice también que el Higgs debe tener spin cero, aunque estas primeras medidas no han permitido aún determinar su spin. Aunque confiamos que dentro de poco tiempo se habrá reunido la suficiente cantidad de datos para aclarar todas las dudas acerca de su naturaleza. El Higgs se puede desintegrar de cinco maneras distintas, y todas estas posibilidades han sido ya detectadas y estudiadas a partir de los datos del LHC.

¿Y por qué se ha llamado al Higgs la "partícula de Dios"? Esto fue un infortunio, yo creo que una trampa en la que cayó el premio Nobel Leon Lederman. Lederman escribió un libro de divulgación científica, con un contenido similar al de esta charla, pero mucho más amplio, muy bien explicado y mejor escrito. Cuando vi que hablaba la partícula de Dios me produjo un escalofrío. ¿Qué quiere decir este hombre, esta historia a que viene?. La historia es sencilla, Lederman escribió el libro y lo llamó "The Goddamn Particle", que quiere decir algo así como la maldita o la puñetera partícula. Pero su editor, que tiene asesores de primera categoría, concluyó que ese título no vendía, y decidió llamarle "The God Particle", la partícula de Dios, la partícula divina. Yo querría decir que se trata de un buen libro de divulgación, a pesar de la trampa mercantil en la que cayó nuestro amigo el Nobel Lederman.

La era del LHC ha empezado con un gran descubrimiento. Estoy seguro de que pronto le van a seguir muchos otros. El LHC es una máquina increíble, funciona como un reloj suizo y no es porque esté en Suiza. Estando en el CERN

se ve como cada día los ingenieros mejoran el instrumento, aumenta la cantidad de protones que circulan por el acelerador. El LHC es una máquina pensada para durar, y hasta el año 2030 producirá casi quinientas veces más datos de los que hay hasta hoy, a una energía mucho mayor, porque todavía no se halla a pleno rendimiento.

Estamos en la Real Sociedad Económica de Amigos del País, donde seguro hay mucha gente que conoce a Alan Greenspan. Como conclusión, no puedo resistirme a citar las palabras con las que suele finalizar sus conferencias: "Si lo que he contado les parece claro y transparente, han debido interpretar erróneamente lo que he dicho".

Muchas gracias.