

Del átomo al Higgs: una excursión cultural

Mariano Santander

Departamento de Física Teórica, Atómica y Óptica. Universidad de Valladolid

En sus espléndidas 'Lectures on Physics', impartidas hace ahora 50 años, Richard Feynman plantea una interesante pregunta: Si todo el conocimiento científico fuera a ser destruido en un cataclismo, y se pudiera transmitir una sola frase a la siguiente generación de seres, ¿qué sentencia contendría el máximo de información en el mínimo de palabras? Feynman escoge la hipótesis atómica, la idea de que todas las cosas están hechas de átomos, diciendo: Como verán, en esta sola sentencia hay una enormidad de información sobre el mundo, a poco que se piense y se ponga en ello algo de imaginación.

Aunque solo intuitos hace muchos siglos, y aceptados en la práctica por la química (sin evidencia directa) desde inicios del s. XIX, ahora sabemos que los átomos existen realmente. Y sabemos además, que en vez de ser indivisibles, que es lo que significa originalmente el nombre, los átomos de todos los elementos químicos están formados por solamente tres tipos de partículas, protones, neutrones y electrones, que a los efectos del nivel atómico bien pueden considerarse como "partículas elementales". Lo único que diferencia entre sí a los átomos de diferentes elementos es el número de protones y electrones que los constituyen. Entender las reglas del juego por las que esos pocos tipos de partículas se agrupan para formar átomos, que a su vez son los constituyentes básicos de todo (¡todo!) cuanto nos rodea es también una de las claves para entender, y por ende aprovechar, las propiedades de los materiales que se pueden construir agregando átomos, desde los que encontramos en la naturaleza hasta todo tipo de recién llegados, como los fullerenos y nanotubos, el grafeno, los cristales líquidos y todo un mundo de posibilidades que se podrán conseguir mediante manipulación de la materia a nivel de los átomos individuales.

El objetivo de la Física es, por supuesto, entender el mundo tal como es. Por ello, una

vez aprendido que los átomos tienen constituyentes, debemos preguntarnos por las sorpresas que nos aguardan cuando nos adentramos en el nivel atómico: ¿son los electrones, protones y neutrones partículas realmente 'elementales', o están a su vez compuestas de otras partículas 'más elementales'? Conviene aquí aclarar que este uso del término 'elemental' que se emplea en Física es quizás equívoco, ya que no encierra la pretensión de ser realmente el 'último constituyente' en ningún sentido absoluto. Solamente en exposiciones desfiguradamente simplificadas se habla de que el objetivo de tales investigaciones es 'encontrar los últimos constituyentes de la materia'. Como Feynman dijo en una entrevista en 1980: No creo que los físicos hayan buscado nunca un constituyente último. Hay que ser muy presuntuoso para afirmar 'Vamos a encontrar la partícula última'.

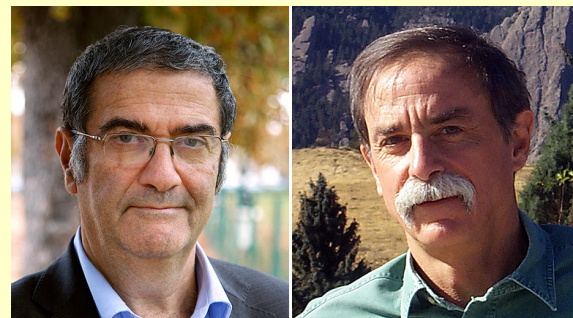
Hace 90 años comenzamos a entrever que la descripción correcta de la naturaleza es la que nos da la mecánica cuántica. La naturaleza se comporta en algunas circunstancias de manera realmente inesperada y ajena a nuestra experiencia cotidiana, pero hasta donde sabemos -y lo hemos podido comprobar en multitud de experiencias en el último siglo-, ese comportamiento es precisamente el que la mecánica cuántica predice y describe. Algunas de esas predicciones son tan extrañas que durante

mucho tiempo se consideraron como una curiosa extravagancia: un buen ejemplo son los estados entrelazados, o los estados llamados gatos de Schrödinger, que recientemente han pasado a ser objeto de fascinantes experimentos realizados en átomos aislados gracias, entre otros, al trabajo por el cual Haroche y Wineland han recibido el último premio Nobel de Física. Realmente, la posibilidad de experimentar a ese nivel sobre un sólo átomo es algo con lo que los descubridores de la mecánica cuántica seguramente ni soñaron en sus especulaciones más atrevidas.

El campo electromagnético fue el primer ejemplo histórico de un campo que permea el espacio. Propuesto intuitivamente por Faraday, y descrito (podríamos decir, quizás, literalmente inventado) hace 150 años por Maxwell, hoy nadie podría poner en duda su realidad. La llegada de la mecánica cuántica, 60 años más tarde, nos obliga a modificar la imagen clásica ingenua de campo: todos los campos se manifiestan a través de partículas, que son, por así decir, las excitaciones mínimas del campo. En el caso del electromagnetismo, estas partículas son los fotones, propuestos por Einstein en 1905 para explicar el efecto fotoeléctrico. En último término, cualquier proceso electromagnético puede describirse dentro de una teoría cuántica como un intercambio de fotones, y se dice que los fotones son los portadores de la interacción electromagnética. Se trata de partículas de masa nula y estables, que se producen y/o absorben en las transiciones atómicas; como consecuencia de ambos hechos, podemos recibir fotones procedentes de la bombilla de nuestro escritorio, del Sol o de la galaxia más lejana que podamos observar. 'Extraer' un fotón de un campo electromagnético subyacente (por ejemplo, el de un átomo) es fácil aportando sólo un poco de energía y una vez extraído (o emitido) el fotón se mantiene estable, aunque no pueda quedarse quieto, e inicia su viaje en la dirección en que fue emitido, hasta acabar llegando a nuestra ventana o a una galaxia lejana. Realmente, toda nuestra tecnología moderna, así como el mecanismo que nos aporta la energía procedente del Sol, se explica con la conjunción entre electromagnetismo y mecánica cuántica, y ambos ingredientes son imprescindibles conduciendo a la electrodinámica cuántica.

Todo esto quedó claro en los años 30 del s. XX. En esa misma década se intentó abordar experimentalmente la pregunta de si los

protones tienen constituyentes, mediante un procedimiento de auténtica fuerza bruta: hacer colisionar protones, previamente acelerados, e identificar los productos de las colisiones. Desde el primer ciclotrón, diseñado por Leo Szilard en 1932, los aceleradores destinados a tal fin fueron ampliando el rango de energías accesibles, y con ello, como subproductos de las colisiones, se fueron descubriendo más y más partículas. A mediados de los años 50, eran ya tantas las identificadas que se comenzó a hablar del zoo de partículas; resultaba cada vez menos creíble la posibilidad de que esas partículas pudieran ser todas ellas 'elementales' en ningún sentido absoluto.



Serge Haroche y David J. Wineland premio Nobel de Física 2012 por sus trabajos en óptica cuántica que analizan interacción entre luz y materia. Sus estudios han permitido la fabricación de relojes de gran precisión. Han sentado las bases para la futura creación de un 'super ordenador cuántico'.

Hoy sabemos que ni los protones y neutrones, ni la mayor parte de los otros miembros del zoo de partículas son elementales, sino que son agregados de otras partículas más básicas, los quarks. Propuestos en 1964 por Gell-Mann y Zweig, y radicalmente diferentes en su comportamiento de todo cuanto conocemos en el nivel ordinario, la existencia de los quarks no ofrece hoy ninguna duda, aunque los quarks aislados no sean observables en todo el rango de energías al que hoy podemos acceder. Más de medio siglo de investigación experimental y de desarrollo de modelos teóricos han conducido al actualmente llamado 'modelo estándar de las partículas elementales'. En este modelo, que goza de notable confirmación experimental y tiene una estructura matemática llena de llamativos patrones y simetrías, hay unas pocas partículas que se siguen considerando realmente 'elementales': algunas son fermiones (de espín semientero) y otras son bosones (de espín entero). Insisto en que 'elementales' no debe entenderse de

manera literal, sino en un sentido técnico preciso: partícula 'puntual' descrita exactamente por una de las 'ecuaciones de onda' de la mecánica cuántica relativista. El modelo estándar completo contiene precisamente tres 'generaciones' de fermiones. La primera generación está formada por dos quarks, llamados up, down y dos leptones, el electrón y el neutrino electrónico; estas partículas se denotan u, d; e, ν_e . Cada una de las otras dos generaciones, que exhiben una intrigante simetría ternaria con la primera, están constituidas por dos quarks, charm, strange (resp. bottom, top) y dos leptones, el muón y el neutrino muónico (resp. tau y neutrino tauónico). Los símbolos usuales para estas

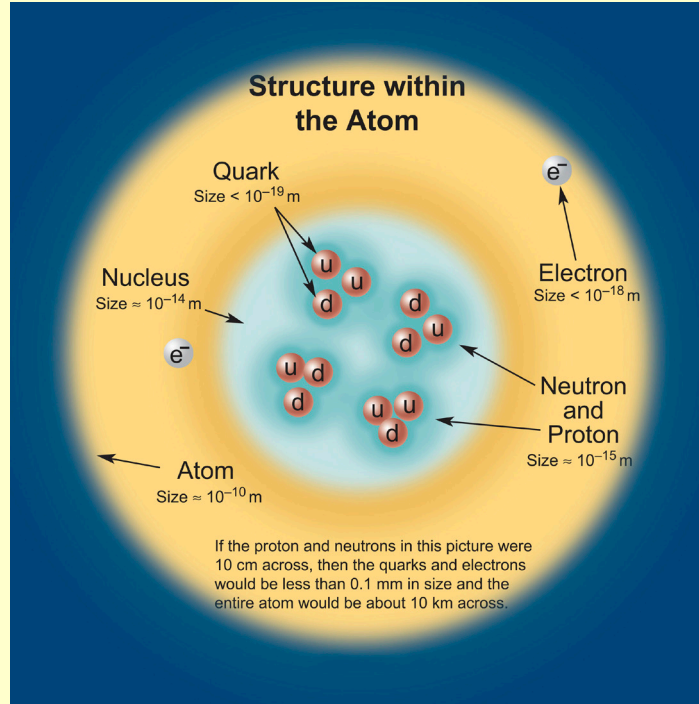
partículas son c, s; μ , ν_μ , y b, t; τ , ν_τ . Todas las partículas anteriores vienen acompañadas de sus antipartículas, que en la teoría juegan un papel totalmente simétrico.

Aparte están también los bosones básicos, cuyo rol es el de servir de 'partículas de fuerza' o de portadores de las interacciones.

Hablamos antes de los fotones (las partículas de luz), que transportan las interacciones electromagnéticas; están también los bosones portadores de las interacciones nucleares débiles (los bosones W^\pm y Z^0) y de las interacciones fuertes (los gluones). Los neutrones y protones son sistemas ligados formados por tres quarks $p \equiv uud$ y $n \equiv udd$ (bueno, para ser precisos, de una sopa de quarks, antiquarks y gluones en la que hay un exceso de tres quarks sobre los antiquarks).

Los átomos de toda la materia que conocemos son agrupaciones de éstos con electrones. Por esta razón, los quarks y los leptones a veces se llaman 'partículas de materia'; mediante

los de la primera generación se construyen todos los elementos químicos. Junto con los dos quarks u, d, los quarks de las otras dos generaciones (que son inestables) aparecen como los constituyentes de los restantes miembros del zoo, colectivamente llamados hadrones (subdivididos a su vez en dos grandes grupos, mesones y bariones).



MODELO ESTÁNDAR: Fermiones y Bosones (<http://CPEPweb.org>)

FERMIONS			matter constituents			BOSONS			force carriers		
spin = 1/2			spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...			spin = 1			spin = 0, 1, 2, ...		
Leptons			Quarks			Unified Electroweak			Strong (color)		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge	Name	Mass GeV/c ²	Electric charge	Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_L lightest neutrino*	(0-0.13)×10 ⁻⁹	0	u up	0.002	2/3	γ photon	0	0	g gluon	0	0
e electron	0.000511	-1	d down	0.005	-1/3	W⁻	80.39	-1			
ν_M middle neutrino*	(0.009-0.13)×10 ⁻⁹	0	c charm	1.3	2/3	W⁺	80.39	+1			
μ muon	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3	W bosons					
ν_H heaviest neutrino*	(0.04-0.14)×10 ⁻⁹	0	t top	173	2/3	Z⁰ Z boson	91.188	0			
τ tau	1.777	-1	b bottom	4.2	-1/3						

Properties of the Interactions

The strengths of the interactions (forces) are shown relative to the strength of the electromagnetic force for two u quarks separated by the specified distances.

Property	Gravitational Interaction	Weak Interaction (Electroweak)	Electromagnetic Interaction	Strong Interaction
Acts on:	Mass – Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge
Particles experiencing:	All	Quarks, Leptons	Electrically Charged	Quarks, Gluons
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	W^+ W^- Z^0	γ	Gluons
Strength at	10^{-18} m	0.8	1	25
	3×10^{-17} m	10^{-41}	1	60

Particle Processes

These diagrams are an artist's conception. Blue-green shaded areas represent the cloud of gluons.

$n \rightarrow p e^- \bar{\nu}_e$

A free neutron (udd) decays to a proton (uud), an electron, and an antineutrino via a virtual (mediating) W boson. This is neutron β (beta) decay.

$e^+ e^- \rightarrow B^0 \bar{B}^0$

An electron and positron (antielectron) colliding at high energy can annihilate to produce \bar{B}^0 and B^0 mesons via a virtual Z boson or a virtual photon.

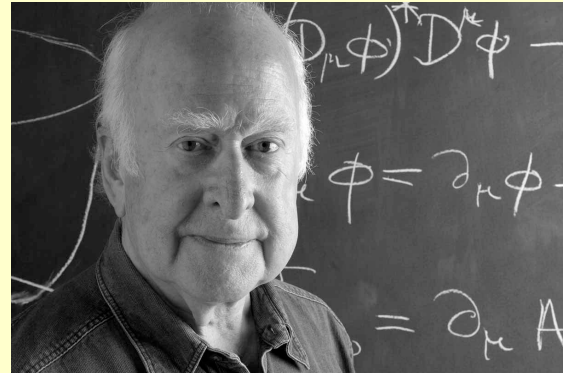
Conocemos -por haberlas medido experimentalmente u observado indirectamente- las propiedades básicas de todas estas partículas: su masa, carga eléctrica, espín. La carga eléctrica y espín están cuantizados y muestran patrones muy simples con valores discretos que se 'entienden': las cargas eléctricas de los quarks son múltiplos enteros de 1/3 si se toma la del electrón como unidad y los espines son 1/2 para todos los fermiones básicos y 1 para los bosones básicos. Por el contrario, las masas de los fermiones básicos presentan valores

muy dispares que desafían la comprensión. Si se toma la masa del electrón como unidad, entonces la del leptón más ligero -el neutrino electrónico- aún no se conoce con mucha precisión, pero se sabe menor de $4,3 \cdot 10^{-6}$, esto es, del orden de una millonésima de la masa de un e, mientras que el quark más masivo, el top, tiene una masa de $3,3 \cdot 10^5$, cuyo orden de magnitud está cerca de un millón de veces la masa del electrón. La amplitud de estos intervalos es abrumadora: imagínese un juego de construcción con unas pocas piezas cuyas masas tengan esas

relaciones. En una formulación tosca y puramente descriptiva de las interacciones entre partículas, sería admisible considerar las masas de las diversas partículas como datos iniciales que la teoría no explica. Pero si intentamos construir una auténtica teoría, deberemos basarla en principios y en una estructura matemática, algo que parece radicalmente inevitable si queremos encontrar luz en un mundo tan distinto y oscuro. El mejor candidato de que disponemos actualmente -el llamado modelo estándar- está basado en la idea de invariancia gauge bajo un grupo de invariancia local, una idea que subyace la descripción cuántica del electromagnetismo que se aclaró a finales de los 1920s, y que fue ganando terreno progresivamente desde entonces. Los primeros intentos de usar la idea de invariancia gauge como directriz para construir una teoría de las interacciones de las partículas datan de principios de la década de 1960, fecha en la que la física de partículas se desgaja de la física nuclear. Sin querer entrar en detalles, la exigencia de invariancia gauge predice de manera inevitable que los bosones portadores de las interacciones deben tener masa nula. Los fotones encajan con esta exigencia. Pero incluso mucho antes de que los bosones portadores de la interacción débil fueran observados, la relación general entre alcance de la interacción y masa de los portadores sugiere que tales bosones deberían ser bastante masivos (lo que resultaría confirmarse cuando en 1983 se descubrieron experimentalmente en el CERN). Y esto no encaja con una descripción basada en invariancia gauge. En sus inicios, esta objeción era un obstáculo importante para tales modelos de interacciones entre partículas (es bien conocida la postura escéptica de Feynman en los 1960s sobre la validez de la idea gauge para construir una teoría de las partículas elementales, postura que luego cambió).

Aquí es donde aparece Peter Higgs. Este físico, entonces en la Universidad de Manchester, propuso en 1964 un mecanismo, diríamos un 'juguete teórico', un campo que permea el espacio y que interacciona con todas las demás partículas, que como consecuencia de esta interacción 'adquieren' su masa. Realmente, hubo varios otros padres (al menos Englert, Brout, Guralnik, Hagen y Kibble), que publicaron independientemente la misma idea, aunque Higgs fue el más explícito en la predicción de existencia de la nueva partícula. En un nivel de pura divulgación no es fácil y quizás no es siquiera posible transmitir la idea de cómo el Higgs

'proporciona' su masa a las partículas fundamentales del modelo estándar sin distorsionarla más allá de lo tolerable, de manera que ni siquiera lo intentaré. Si aceptamos analogías, hay varias, y quizás la mejor es la ofrecida por David Miller, que ganó una botella de champán ofrecida por el ministro de Ciencia del Reino Unido a quien fuera capaz de explicar, en una página, qué era la partícula de Higgs; como cualquier analogía, ésta debe entenderse con el proverbial grano de sal, pues forzar un entendimiento literal de una analogía es la mejor manera de autoengañarse creando una falsa sensación de que se entiende el problema. (Si no la conoce, puede leer la propuesta de David Miller googleando 'David Miller Higgs analogy'; el texto aparece en los primeros enlaces.).



Peter Higgs. es un físico británico conocido por su proposición en los años 60 de la ruptura de la simetría en la teoría electrodébil, explicando el origen de la masa de las partículas elementales en general, y de los bosones W y Z en particular.

A simple vista de profano, el mecanismo de Higgs parece bastante arbitrario, ya que se diría que la idea consiste simplemente en desplazar la arbitrariedad que hay en el valor de la masa de cada partícula a la arbitrariedad de la intensidad de la interacción entre cada partícula y el campo de Higgs. Pero la gracia de este mecanismo es que permite compatibilizar la exigencia de invariancia gauge con el hecho de que los bosones portadores puedan tener masa. La idea en una cáscara de nuez: los bosones 'son' de masa nula, pero a través de su interacción con el campo de Higgs (que en cierto sentido representa el vacío de la teoría) los bosones se comportan como dotados de una 'masa efectiva' que proviene de dicha interacción y que es la 'masa' con la que podemos observarles. El encaje técnico y matemático

de esta propuesta con la idea de una teoría gauge era tan natural y la solución tan 'simple', que un gran número de teóricos, previamente subyugados por esta misteriosa atracción de la naturaleza por las matemáticas, se inclinaron desde muy pronto en su favor. Y además, el mecanismo es también universal; sirve no solo para explicar porqué los bosones W^\pm y Z^0 tienen masa, manteniendo la invariancia gauge, sino también para 'explicar', mediante el mismo mecanismo, las masas de los restantes fermiones fundamentales del modelo. Técnicamente, el mecanismo de Higgs consiste en lo que se llama una ruptura espontánea de la simetría, causada por un campo escalar, que entre otras cosas hace que la física del vacío, lejos de ser fría y aburrida sea extremadamente interesante. La partícula asociada al campo de Higgs es el llamado bosón de Higgs; bosón porque la teoría predice que sea una partícula de espín 0, de hecho, la única partícula 'fundamental' de espín 0 (los restantes bosones del modelo son todos de espín 1).

En 1967, Weinberg y Salam proponen incorporar el mecanismo de Higgs a la anterior teoría de las interacciones electrodébiles de Glashow. Por el otro lado, a finales de los 60s se había acumulado ya evidencia observacional concluyente de que casi todos los miembros del zoo están realmente compuestos de quarks, y el asunto se cierra definitivamente en 1968 con los experimentos de scattering profundamente inelástico electron-protón en el SLAC por Friedman, Kendall y Taylor. Una vez ampliado el modelo de Glashow-Weinberg-Salam a mediados de los 70 para incluir también las interacciones nucleares fuertes (descritas como interacciones entre quarks y mediadas por los gluones como bosones portadores) el resultado se conoce desde entonces como el modelo estándar de las partículas elementales. En este modelo, las partículas básicas son por un lado seis quarks y seis leptones, todos ellos fermiones y acompañados de sus respectivas antipartículas, por otro los bosones portadores de las interacciones (el fotón, los bosones W^\pm y Z^0 y los gluones), y, como un 'coordinador', el bosón de Higgs, que no es propiamente portador de ninguna de las interacciones específicas del modelo, pero que a su vez interacciona con todas las demás. Conviene estar en guardia ante la afirmación exagerada de que el modelo estándar es casi una teoría final: incluso aunque fuera completo (que no lo es, ya que la gravedad queda fuera de su alcance y tampoco parece acomodar ninguna

explicación de la energía oscura ni candidatos claros para la materia oscura), en cada una de las escalas hacia arriba (atómica, molecular, clusters, sólidos) debemos esperar que aparezcan nuevas leyes 'emergentes' cuya reducción a los niveles inferiores, aunque fuera posible, seguramente sería irrelevante, lo que como señalaba Feynman hace algo presuntuosas las pretensiones de defender este modelo como un paso a la teoría final. Pero habiendo dicho ya lo anterior, lo cierto es que entre 1970 y 1990 el modelo estándar fue asentándose a la manera de las buenas teorías, esto es, acumulando éxitos predictivos. Seguramente la más destacada predicción fue la de los bosones W^\pm y Z^0 , portadores de la interacción débil. Propuestos teóricamente por Schwinger en 1959 y por Glashow en 1961 e incorporados al modelo estándar por Weinberg y Salam, estos bosones se encontraron observacionalmente en 1983, confirmando que sus masas eran bastante grandes (del orden de 100 veces la masa del protón).



Sheldon Lee Glashow, Abdus Salam y Steven Weinberg recibieron el premio Nobel en 1979 por sus contribuciones a la teoría de la interacción unificada de la teoría débil y electromagnética, entre partículas elementales.

Hacia 1990 se había observado todo el espectro de las partículas del modelo estándar, excepto el Higgs. La pregunta realmente pertinente en ese momento es: ¿existe realmente, -esto es, en la naturaleza- el Higgs? La única manera que los científicos aceptamos para obtener respuestas es preguntar a la naturaleza. Y esto es lo que se ha hecho. Veamos cómo. Comentamos antes que el bosón de Higgs es una partícula cuyo papel en el teatro del mundo es muy diferente al del fotón: el Higgs no es propiamente portador de ninguna de las tres interacciones electromagnéticas, nucleares débiles o nucleares fuertes (que aparecen como diferentes solo en el rango de bajas energías, y que podríamos quizás agrupar mejor como interacciones quirales (electrodébiles) e

interacciones fuertes). Dos de las propiedades básicas del Higgs son tener una masa bastante alta (cuyo valor preciso no está predicho por la teoría) y ser muy inestable. Lo primero significa que 'extraer' (o 'crear') un bosón de Higgs excitando al campo de Higgs requiere una impresionante cantidad de energía. Y lo segundo, que muy poco después de ser 'creado', el Higgs se desintegrará, dejando como rastro una cascada de otras partículas como subproductos. Para mayor confusión, hay muchas maneras posibles (o canales) en las que un bosón de Higgs puede desintegrarse; la teoría nos permite estudiarlas, predecir para cada una cual será su frecuencia relativa dependiendo de la masa del bosón de Higgs como parámetro, y determinar sus firmas, esto es, patrones o correlaciones concretas en esas desintegraciones, que servirán para orientar el trabajo observacional. Un canal de desintegración del Higgs poco frecuente pero que permite observaciones muy limpias es la desintegración en dos fotones, canal que ha proporcionado gran parte de la evidencia en el descubrimiento. La naturaleza, pues, no nos ha puesto fácil observar estas partículas. En su detección hay dos retos, cada uno de ellos monumental. Para comenzar, debemos acelerar protones a energías muy altas y hacerlos colisionar. Ello se consigue mediante grandes aceleradores (que se llamarían mejor energizadores), cuya tecnología, tamaño y escala de energías accesibles ha aumentado sin cesar desde los primeros ciclotrones de los 1930s. Superado el primer reto, y construido un acelerador con el rango adecuado de energía (lo que es más fácil de decir que de hacer), al hacer colisionar dos haces de protones, y entre la miríada de procesos que se producirán, el segundo reto es la identificación sobre la marcha de precisamente aquellas colisiones que den lugar a un Higgs y el registro precisamente de los datos relevantes de esos procesos (que son una ínfima fracción del total, ya que hay otros muchos canales de producción de partículas en las colisiones entre protones a esas altas energías, y registrar todos es una imposibilidad).

Para superar el primer reto, en diciembre de 1994 y tras la cancelación de un proyecto -el Superconducting Supercollider SCC- de colisionador norteamericano, se aprobó la construcción en el CERN del Large Hadron Collider, abreviado LHC, cuya construcción ha empleado 15 años. El pasado 4 de julio de 2012, tras un año de funcionamiento, el CERN anunció una nueva partícula compatible con el

bosón de Higgs, con una masa de unos 125 GeV/c². La sequedad y concisión del lenguaje científico usado en el anuncio oficial no debe hacer perder de vista la impresionante cantidad y calidad de tecnología, ingeniería, diseño de experimentación y control exhaustivo sobre los procedimientos de medición, registro y análisis que hay detrás de este anuncio. Baste mencionar que dos inmensos detectores, ATLAS y CMS, registran y analizan datos de manera independiente; uno de los objetivos de esa separación es minimizar los muchos sesgos que pueden darse incluso en protocolos aparentemente libres de ellos. El análisis de los datos se realiza de forma 'ciega': los datos no se examinan hasta que los criterios de análisis hayan sido completamente evaluados y aprobados. Poco que ver aquí con los trapicheos varios que son moneda común en nuestra vida pública en estos días.

Unas pocas de las preguntas que pueden hacerse sobre este tema me parecen especialmente relevantes. La primera: Bien, ya se ha encontrado el bosón de Higgs y ¿ahora qué? Bueno, se ha encontrado algo, que aplicando unos criterios de extremo control y exigencias de identificación encaja con lo que se esperaba del Higgs, pero hay muchos detalles que completar y esa tarea requerirá su tiempo. En enero de 2013, casi todos los datos disponibles parecen compatibles con que se trate del Higgs predicho por el modelo estándar, pero aún no se ha establecido de manera segura si el espín de la partícula observada es 0 ó 2, ni tampoco se ha excluido la posibilidad de que pudiera tratarse de alguna de las partículas predichas por diferentes variantes supersimétricas del modelo estándar, teorías en las cuales hay varios 'Higgses'. Y en todo caso, el objetivo de cualquier físico siempre será descubrir lo que hay realmente, muy por encima de 'encontrar el Higgs' (con artículo determinado). Y en esa tarea el trabajo no se acaba nunca. Si una vez completados los detalles resultara que la partícula descubierta no es exactamente el Higgs que predice el modelo estándar (lo que no es descartable), ningún físico dirá: 'no es lo que yo esperaba, que no cuenten conmigo para estudiar eso'. Más bien dirán, seguramente encantados y excitados: '¿y que es lo que hay ahí, pues?'. Si la partícula encontrada no fuera el Higgs, tendríamos otra tarea diferente ante nosotros: entender cómo pudo darse el impresionante poder predictivo que ha mostrado el modelo estándar en un esquema profundamente equivocado. Si ese fuera el caso, basta una excursión superficial

por la historia de la física para estar seguro de que lo que nos aguarda también sería extremadamente interesante.

La segunda es: ¿afectará este descubrimiento, y en general este tipo de investigaciones, a nuestra vida cotidiana? A diferencia de otros descubrimientos recientes, como la magnetoresistencia gigante, que se transformó en el crecimiento impresionante de la capacidad de almacenamiento de los discos duros en cosa de pocos años, no es previsible ninguna aplicación inmediata del hallazgo de Higgs. Aparte de la noble motivación genérica que Jacobi asignaba a las Matemáticas, *le but unique de la Science, c'est l'honneur de l'esprit humain*, -extensiva a casi cualquier indagación seria-, estas investigaciones pueden conducir a nuevas tecnologías que no podemos aún imaginar, como ya ha ocurrido frecuentemente en el pasado. Y, en cualquier caso, ya hay aportaciones menos directas. Los métodos de análisis empleados se han exportado al campo médico mejorando los estudios de los efectos de nuevos tratamientos. Y la tecnología informática necesaria para decidir sobre la marcha qué datos hay que registrar (trigger) y su posterior tratamiento y almacenaje hasta ponerlos a disposición de los científicos interesados, la Worldwide LHC Computing Grid, será posiblemente un modelo para la evolución futura de Internet. Y esto por no mencionar muchos logros prácticos de ingeniería que se han abordado debido a las necesidades del LHC, en algunos casos con participación española relevante.

La tercera es: ¿y por qué la llaman partícula de Dios? El nombre usado en los medios, 'la partícula divina' o 'la partícula de Dios' es considerado infausto por todos los físicos que conozco (sin duda también por casi todos los que no conozco). Circula una leyenda urbana, ultrarrepitada en Internet, que cuelga la etiqueta 'culpable' al editor de un libro que en 1992 publicó Leon Lederman. Este libro se encuadra a medio camino entre la divulgación pura y una campaña mediática de apoyo a la construcción en Texas del Superconducting Supercollider, un acelerador que habría alcanzado las energías necesarias para detectar el Higgs y cuya construcción, que ya había sido comenzada, fue finalmente rechazada por el Congreso de EEUU. Según esta leyenda urbana, Lederman habría querido titular su libro 'The goddamn particle', algo que traduciríamos en versión educada como 'La maldita partícula', pero su editor impuso el de 'The God particle' como una elección más aceptable para su mercado. De juzgar lo que

un buen entendedor percibe leyendo el libro, esta historia resulta poquísimo creíble (de lo contrario, varias secciones del libro carecen de sentido); parece más que probable que 'The God particle' fuera el título pretendido realmente por Ledermann.



Leon Max Lederman, autor del libro "La partícula divina". Sus investigaciones científicas se centraron, junto a **Melvin Schwartz** y **Jack Steinberger**, en un método de detección de los neutrinos que permitió demostrar la doble estructura de los leptones. Este descubrimiento permitió a los teóricos elaborar el modelo estándar, para la clasificación de todas las partículas elementales. En 1977 consiguió detectar una nueva partícula quark, el quark fondo. Once años más tarde, en 1988, fue galardonado con el Premio Nobel de Física, junto a los físicos compañeros Melvin Schwartz y Jack Steinberger, por sus trabajos sobre el neutrino.

Finalmente está la más delicada: ¿está realmente justificado destinar tantos recursos económicos a este tipo de megaproyectos?, con su secuela ¿qué retorno socialmente positivo ha tenido la investigación en el CERN hasta ahora? La necesaria brevedad no me permite muchos matices. Creo que es exacto decir que la actual World Wide Web, con su protocolo de comunicaciones abierto tal cual la conocemos ahora, se originó en el CERN para facilitar el acceso a datos almacenados en un ordenador remoto, y es con seguridad el subproducto no previsto más exitoso de todos los tiempos. Sin esa contribución de Tim Berners-Lee, premio Príncipe de Asturias en 2002, es al menos dudoso que las redes preexistentes, como la Arpanet del departamento de Defensa de EEUU hubieran evolucionado hacia un sistema tan abierto. Ello nos lleva a un punto que ha enfatizado acertadamente Freeman Dyson en varias de sus interesantes obras de prospectiva científica, como su aconsejable *Infinity in all*

directions: la evidencia histórica de que disponemos muestra, sin asomo de duda, que no se puede prever dónde, cómo y cuándo van a surgir las ideas, desarrollos o descubrimientos realmente importantes. Y como esta importancia solo se ve clara a posteriori, entretanto lo único razonable es promover y apoyar todo un abanico de campos científicos en los cuales se trabaje, pues en alguno de ellos (y muy probablemente, no en los declarados preferentes con cualesquiera argumentos) habrá un avance esencial. El apoyo desmesurado a la investigación en Física de partículas fue tradicionalmente contestado, especialmente por parte de físicos en otros campos, como la materia condensada, que fueron tomando como bandera progresivamente el lema 'More is different' de Anderson, con el argumento de que dedicar una fracción sustancial de los recursos a un solo proyecto conlleva un serio riesgo de impedir el desarrollo de otros que a la postre pudieran resultar más fructíferos (y que posiblemente pueden desarrollarse con recursos modestos). Si esto se entiende como que es insensato dedicar todos los recursos a un solo campo, yo estoy completamente de acuerdo con esa crítica (un artículo reciente en El País, de Sanchez-Ron defiende la misma idea). Pero hay que señalar la manipulación frecuente que conduce a distorsionar la relevancia potencial de muchos proyectos presentándolos con promesas algo temerarias de su eventual relevancia social o práctica, cuando pueden ser interesantes -o no- por otros motivos pero distan de ser realistas en aquellas promesas. En la actual situación, en la que las antiguas 'cantidades astronómicas' han sido superadas de lejos por las nuevas 'cantidades económicas', y al margen de las eventuales discrepancias de detalle, me

parece imprescindible forjar una unidad entre los científicos e investigadores, de todos los campos, que hagan llegar a nuestros dirigentes políticos la convicción de que cortar las inversiones en ciencia, en toda la ciencia, es un auténtico suicidio que, si no se remedia - y no parece que en España llevemos ningún camino de ello-, nos llevará como país por un atajo a algún triste lugar en medio de la irrelevancia y conducirá al exilio a los mejores entre nuestra actual generación de jóvenes formados.

Algunas referencias para saber más.

A. Casas, T. Rodrigo, El bosón de Higgs, CSIC, Col. Libros de la Catarata, 2012

Un buen libro casi recién publicado y monográfico sobre el bosón de Higgs, en la línea ¿qué sabemos de ...?

F. Yndurain, Electrones, neutrinos y Quarks: la física de partículas en el nuevo milenio, Ed. Crítica 2006.

Una buena exposición, de 'divulgación para físicos', con una reseña histórica general colocada como telón de fondo y un excelente y claro resumen de la física subyacente. Se trata de un género nada frecuentado en nuestro país del que este libro es un muy buen representante.

C.G. Tully, Elementary Particle Physics in a nutshell, Princeton University Press, 2011.

Un texto reciente y autocontenido de la teoría, no de divulgación (i.e, para estudiar). La teoría se presenta desde el primer capítulo de manera lógica, tal cual la vemos hoy, sin los desvíos y meandros de la historia, que apenas aparecen mencionados.