

El Bosón de Higgs

La partícula de Dios

Arturo Menchaca

Uno de los descubrimientos más relevantes de los últimos tiempos en el ámbito de la física es sin duda el del Bosón de Higgs. El físico Arturo Menchaca, investigador del Instituto de Física, nos explica la relevancia de este hallazgo y sus implicaciones para la comprensión del universo.

El pasado 4 de julio científicos del Centro Europeo de Investigaciones Nucleares (CERN) anunciaron el descubrimiento de una nueva partícula que “podría” ser el llamado Bosón de Higgs, conocido popularmente como “la partícula de Dios”. Tal noticia logró las primeras planas de los principales diarios en el mundo, incluso en México, a pesar de la efervescencia postelectoral. Pero, ¿qué es un bosón?, ¿a qué se dedica el CERN?, ¿cuál es la significancia de este descubrimiento?, ¿cómo se gestó su búsqueda?, más aún, ¿por qué una comunidad característicamente agnóstica recurre a un alias divino? Responder a esas preguntas es el propósito de este artículo.

Empezaremos por entender qué es un bosón. Para ello es necesario repasar brevemente la visión que hoy se tiene sobre la estructura de la materia. En una historia que ha durado más de un siglo, los físicos han construido un exitoso marco teórico que denominan Modelo Estándar (ME). Brevemente, éste se basa en el concepto de que la materia está compuesta de partículas, que interaccionan entre sí a través de las cuatro fuerzas fundamentales, llamadas: gravitacional, electromagnética, fuerte y débil. Imaginemos, por ejemplo, a un átomo del elemento hidrógeno, que es el más sencillo y abundante de la naturaleza. Las partículas que lo componen son dos: un electrón y un protón (que actúa como núcleo).

Ambas se encuentran unidas por la fuerza electromagnética. Como sucede con cualquier sistema que se encuentra ligado de esa manera, hace falta una cierta energía para separar a las partes que forman este átomo, misma que se recupera cuando los volvemos a juntar. En este ejemplo, tal energía toma la forma de un fotón, que es el cuanto del campo electromagnético. La herramienta matemática que se utiliza para describir estos fenómenos se denomina Electrodinámica Cuántica. Un flujo de fotones es precisamente la luz que le permite a usted leer estas letras, y si para ello está utilizando una computadora, otro flujo de electrones es el que permite que ésta funcione.

En el lenguaje de los físicos, el fotón es el bosón de norma que transmite al campo electromagnético. Otro ejemplo de campo que podría parecer más sencillo es el gravitacional, mismo que garantiza que usted se mantenga, digamos, con los pies en la tierra. Sin embargo, desde el punto de vista teórico, ese campo ha resultado ser el más difícil de cuantizar, es decir, de formular de acuerdo con la mecánica cuántica. Además el gravitón, que sería el bosón de norma del campo gravitacional, aún no se ha podido detectar.

Las otras dos fuerzas fundamentales, la fuerte y la débil, sólo son perceptibles en la escala nuclear. Como

	Fermiones			Bosones
Cuarks	u arriba	c encanto	t cima	γ fotón
	d abajo	s extrañeza	b fondo	Z bosón z
Leptones	ν_e neutrino electrónico	ν_μ neutrino muónico	ν_τ neutrino electrónico	W bosón w
	e electrón	μ muón	τ tauón	g gluón
				bosón de Higgs

Fig. 1. El Modelo Estándar. Los fermiones se dividen en seis cuarks y seis leptones. Los cuadros de la columna derecha representan a los bosones fundamentales, incluido el de Higgs. Ilustró: Dulce M. Aguilar (IFUNAM)

su nombre lo indica, la primera es la más intensa y es responsable de la atracción que ejercen entre sí los componentes de núcleos que podríamos llamar complejos. Me refiero a aquellos que están compuestos de más de un protón, más un número variable de neutrones. Estas últimas partículas, como su nombre lo indica, son eléctricamente neutras, aunque en otros aspectos son muy parecidas a los protones. Cabe agregar que la mayoría de los núcleos atómicos en la naturaleza tienen un número de neutrones que es parecido al de sus protones. Si, en alguna circunstancia (por ejemplo, al explotar una estrella), se llega a crear un núcleo en que se viole esta simetría entre el número de protones y de neutrones, es precisamente la fuerza débil la que se encarga de transformar unos en otros, para restablecer el mencionado equilibrio. Un ingrediente adicional es que tanto los protones como los neutrones están constituidos por otras partículas denominadas cuarks. En general, se ha descubierto que hay seis tipos (o sabores) de cuark (ver Fig. 1), aunque cuatro de ellos sólo aparecen al interior de partículas altamente inestables. El bosón de norma responsable de mantener unidos a los cuarks se denomina gluón, mientras que la fuerza débil es transmitida por dos tipos de bosones, denominados w (cargados eléctricamente,

y los hay de ambos signos) y z (que son eléctricamente neutros). Una particularidad de los bosones de norma del campo débil es que tienen masa. Es decir, ni el fotón, ni el gluón, ni el gravitón poseen esta propiedad. Cabe agregar que, en general, la propiedad que distingue a los bosones es el espín, cuyo símil clásico es un movimiento de rotación sobre sí mismo, como el que produce el ciclo día-noche en la Tierra. Sin embargo, aquí se trata de una característica de origen cuántico, razón por la cual posee un valor particular (cuantizado). Así, el espín de los bosones de norma es cero, o un múltiplo entero del espín del fotón, mientras que el resto de las partículas elementales tiene espín semientero (es decir, múltiplo de la mitad del asociado al fotón), lo que las identifica como fermiones. El comportamiento estadístico de los bosones, comparado con el de los fermiones, es tan diferente que el mundo de lo elemental está claramente separado en esos dos tipos. A este punto es importante aclarar que un sistema formado por un número par de fermiones constituye un bosón. Es decir, los bosones de norma son sólo un subconjunto de esta familia, aunque ciertamente se trata del más fundamental.

Otra peculiaridad de los cuarks es que nadie ha podido, ni podrá, aislar a uno de ellos para estudiarlo in-

dividualmente. Esto se explica argumentando que los cuarks poseen una propiedad adicional, denominada color, que no les gusta mostrar. Es justamente la fuerza fuerte quien garantiza que el color se mantenga como una propiedad interna de las partículas hechas de cuarks, llamadas hadrones, palabra cuya raíz significa fuerte. Por cierto, hay otro conjunto de partículas elementales que incluye al electrón, que no son sensibles a la fuerza fuerte, denominadas por ello leptones, al que volveremos más adelante.

Una peculiaridad de los constituyentes más elementales de la materia es que cada partícula (electrón, cuark, etcétera) tiene asociada otra partícula cuyas propiedades son idénticas, salvo una. Para aquellas que poseen carga eléctrica, la diferencia es el signo de esa carga. El ejemplo más sencillo es el electrón, cuya partícula asociada se llama positrón, porque el signo de su carga es opuesto al del electrón. Lo sorprendente es que cuando un electrón y un positrón interactúan, en determinadas condiciones se aniquilan entre sí, y se generan dos fotones que viajan en direcciones opuestas. En este proceso lo que se conserva no es la masa, sino la energía. Más interesante aún, la aniquilación resulta ser reversible: en determinadas condiciones, a partir de fotones con suficiente energía, se pueden producir pares electrón-positrón, cuark-anticuark, etcétera.

Volviendo a los cuarks, la manera en que se combinan, para formar mesones (hechos de un cuark y un anticuark) o bariones (hechos de tres cuarks, como el protón y el neutrón), es tal que sus colores siempre se cancelan. ¿Cómo se logra esto? Al igual que los tres colores fundamentales, al mezclarse, producen el blanco (ausencia de color). En el caso de los mesones, resulta que el color de los anticuarks es negativo, es decir, se cancela con el de los cuarks. La herramienta matemática que se utiliza para describir estos fenómenos se denomina Cromodinámica Cuántica. En ella el gluón (que tampoco tiene masa) aparece como mensajero de la fuerza fuerte.

Hemos ignorado hasta aquí a un conjunto muy importante de partículas elementales, los denominados neutrinos, que carecen de color y de carga eléctrica, y cuya masa es tan pequeña que a la fecha ha resultado imposible de medir. Por ser insensibles a la fuerza fuerte, pertenecen a la categoría de los leptones. Las otras dos partículas elementales de esta categoría que resultan ser idénticas al electrón (en cuanto a sus propiedades electromagnéticas), pero que son más masivas que éste, se denominan muón y tauón. El muón es una partícula inestable cuya masa es intermedia (es decir, mayor que la del electrón, pero menor que la del tauón), y es el vestigio más fácil de identificar de la radiación cósmica en la superficie terrestre. El tauón es el leptón más masivo e inestable que se conoce. También se ha observado que la fuerza débil permite determinar, de mane-

ra clara, una relación muy íntima entre cada uno de los tres leptones cargados y un tipo específico de neutrino. Así es como sabemos que hay tres tipos de neutrino (electrónico, muónico y tauónico).

Como ya se mencionó, una diferencia notable entre los bosones de norma es que unos tienen masa, y otros no. Hace cincuenta años, cuando el ME estaba en construcción, se encontró que la formulación utilizada implicaba que ningún bosón de norma tuviese masa, lo que contradecía a la fenomenología de la fuerza débil. Una solución para este problema fue propuesta (entre otros) por el británico Peter Higgs en 1964, quien planteó la existencia de un campo de fuerzas (el Campo de Higgs) omnipresente que interactúa con todas las partículas (en particular con los bosones W y Z) provocándoles una inercia (masa). Una manera coloquial de ilustrar este fenómeno, que adaptaré al folclor mexicano de estos días, es imaginar que las partículas son como políticos que se mueven en una sala llena de posibles votantes (ver Fig. 2). Antes de la llegada del político (cuadro 1), los votantes (que representan al campo de Higgs) llenan el salón de manera uniforme. Sin embargo, al entrar, el candidato es de inmediato rodeado por sus simpatizantes (cuadros 2 y 3), haciendo su marcha más lenta, como si hubiese engordado (es decir, adquirió inercia). Si al mismo salón ingresa un político menos popular (cuadro 4), éste será rodeado por menos simpatizantes, por lo que avanzará más rápido, es decir, adquiere menos inercia (masa) que el otro candidato.

El ME fija todas las propiedades del Bosón de Higgs, menos su masa, aunque hipótesis plausibles la ubicaban entre los 120 y los 180 GeV/c^2 . Estas unidades hacen uso de la famosa ecuación de Einstein $E = mc^2$, reescrita como $m = E/c^2$, donde la energía se expresa en múltiplos del electrón-Volt, abreviado eV. Un eV es similar a la energía de los fotones que iluminan la página que está usted leyendo, que para la física de las partículas elementales ésa es una cantidad muy pequeña, siendo más adecuado como unidad el giga electrón-Volt (o GeV), que representa mil millones de veces más energía. Como referencia, la masa de un protón es cercana a 1 GeV/c^2 , mientras que la masa de un electrón es dos mil veces menor que eso.

El Bosón de Higgs tiene espín (y carga eléctrica) cero, y tampoco tiene color. Es decir, sólo interactúa a través del campo débil (además del gravitacional), lo que hace más difícil su identificación. La partícula reportada el 4 de julio por los grupos del CERN tiene una masa de 125 GeV/c^2 .

Antes de abundar sobre la relevancia del descubrimiento es importante describir el laboratorio en que se generó la noticia de su posible descubrimiento: el CERN. Estas siglas corresponden al nombre de la institución en el idioma francés: Conseil Européen pour la Recher-

che Nucléaire. Este organismo internacional fue fundado en 1954 por doce países y hoy participan en ella otras veintiocho naciones, denominadas países no-miembro, entre los cuales se encuentra México. La UNAM, el Cinvestav y la BUAP se encuentran entre las principales instituciones mexicanas involucradas. Esta participación es financiada, en gran parte, por el Conacyt a través de un convenio. A nivel mundial hay doscientas veinte instituciones que tienen científicos involucrados en los diversos proyectos de este gran centro. En el CERN se han realizado numerosas investigaciones que han merecido varios Premios Nobel; sin embargo, para la gente común el CERN es conocido últimamente porque allí se inventó la famosa red cibernética denominada World Wide Web (www), cuya creación ha revolucionado indiscutiblemente las comunicaciones humanas. El CERN está ubicado en la frontera franco-suiza, al norte de Ginebra, y posee varios aceleradores de partículas, unas especies de poderosos microscopios para observar la materia en su escala más pequeña. Desde hace tres años ahí opera el famoso LHC (Gran Colisionador de Hadrones), que es el acelerador más grande del mundo, y cuyos haces de protones alcanzan hoy una energía de 7 TeV (1 TeV = 1000 GeV), o sea casi cuatro veces más poderoso que su antecesor, el Tevatrón del Laboratorio Fermilab, ubicado cerca de la ciudad de Chicago, en Estados Unidos. Estos 7 TeV representan, sin embargo, apenas la mitad de la capacidad de diseño del LHC.

El programa científico inicial del LHC incluyó, entre otros proyectos, confirmar (o rechazar) la existencia del Bosón de Higgs. También se espera que permita poner a prueba la Cromodinámica Cuántica, así como buscar partículas predichas por teorías que van más allá del ME, como la Super-Simetría, la Materia Oscura, los minihoyos negros, los strangelets, el monopolio magnético, etcétera.

El LHC (Fig. 3) tiene instalados, a lo largo de su trayectoria circular de veintisiete kilómetros, cuatro instrumentos principales, denominados ALICE (A Large Ion Collider Experiment), CMS (Compact Muon Solenoid Experiment), LHCb (LHC-Beauty) y Atlas (A Toroidal Lhc Apparatus). Por cierto, es en ALICE donde trabaja el mayor número de miembros de la UNAM, institución que también mantiene un convenio con el CERN. En Atlas y CMS, que son los más relevantes para la física del Bosón de Higgs, también colaboran mexicanos. Estos dos detectores gigantes tienen programas científicos parecidos entre sí, pero en ellos se utilizan diferentes configuraciones experimentales. Es de los investigadores de estos últimos detectores de quienes provino el anuncio del 4 de julio sobre el descubrimiento de una partícula que podría ser el Bosón de Higgs. En esos detectores también se buscan las partículas que compondrían la denominada materia oscura, además de evidencias de la exis-

tencia de nuevas dimensiones, predichas por las teorías de cuerdas.

Poco después de iniciar sus operaciones en septiembre del año 2008, el LHC causó una gran expectativa mundial para, un mes después, causar una gran decepción al sufrir un desperfecto que mantuvo suspendidas sus operaciones durante más de un año. Luego de reiniciarlas, a fines del año 2009, la prensa mundial publicó una serie de notas desconcertantes especulando, por ejemplo, sobre la posible creación (en el LHC) de un hoyo negro que desaparecería a la Tierra. Más aún, hubo quien elucubró que las fallas técnicas eran causadas por el propio Dios, quien se oponía al funcionamiento del LHC, para evitar así que los humanos descubrieran su gran secreto (el Bosón de Higgs). Cabe mencionar que un hoyo negro es un fenómeno astrofísico que ocurre cuando colapsa una estrella con una masa (al menos) tres veces más masiva que nuestro Sol. Para entender cuantitativamente por qué la creación de un hoyo negro en el LHC es imposible, se requieren números tan grandes que resulta útil utilizar la notación científica. He mencionado que en las colisiones del LHC hay energía suficiente para crear siete mil protones. Este número se puede también escribir como 7×10^3 (es decir, 7 veces $10 \times 10 \times 10$). Ahora bien, un gramo de hidrógeno contiene 10^{23} protones, es decir, un 1 seguido de 23 ceros. Por otra parte, la masa del Sol (que está compuesto casi de puro hidrógeno) es 10^{33} gr (un 1 seguido de 33 ceros). Es decir, para crear un hoyo negro se requieren, al menos, 3×10^{56} protones (un 3 seguido de 56 ceros). Es, por lo tanto, absurdo imaginar que en el LHC se pueda crear un hoyo negro macroscópico. Más aún, nuestro planeta es bombardeado regularmente por partículas provenientes del cosmos, algunas de las cuales han mostrado tener energías 10^{10} veces mayores a las que produce el LHC. Es decir, el hecho mismo de que usted viva para leer estas líneas, demuestra que, para suerte de todos nosotros, hay un problema serio con la hipótesis de que en el LHC se produzca un fenómeno que destruya a la Tierra. Sobre el celo del Señor para mostrar sus secretos prefiero no pronunciarme.

A estas alturas cabe preguntarse: ¿pero qué tan relevante es descubrir el Bosón de Higgs? Imagínese por un momento que las partículas que constituyen a nuestro universo careciesen de masa. En tales condiciones, tampoco habría gravedad, ni galaxias, ni estrellas, ni planetas, etcétera. Por lo tanto, entender el origen de esta propiedad es tan importante para la ciencia que, aunque sea de broma, los propios científicos (característicamente agnósticos) han concedido a Dios ese designio. Sin embargo, es importante enfatizar que la noticia emitida por el CERN el 4 de julio pasado es cauta en mencionar que la partícula es sólo “consistente” con el Bosón de Higgs, y que queda mucho trabajo pendiente para confirmar, sin lugar a dudas, que se trate de esa partícula. Pero ese

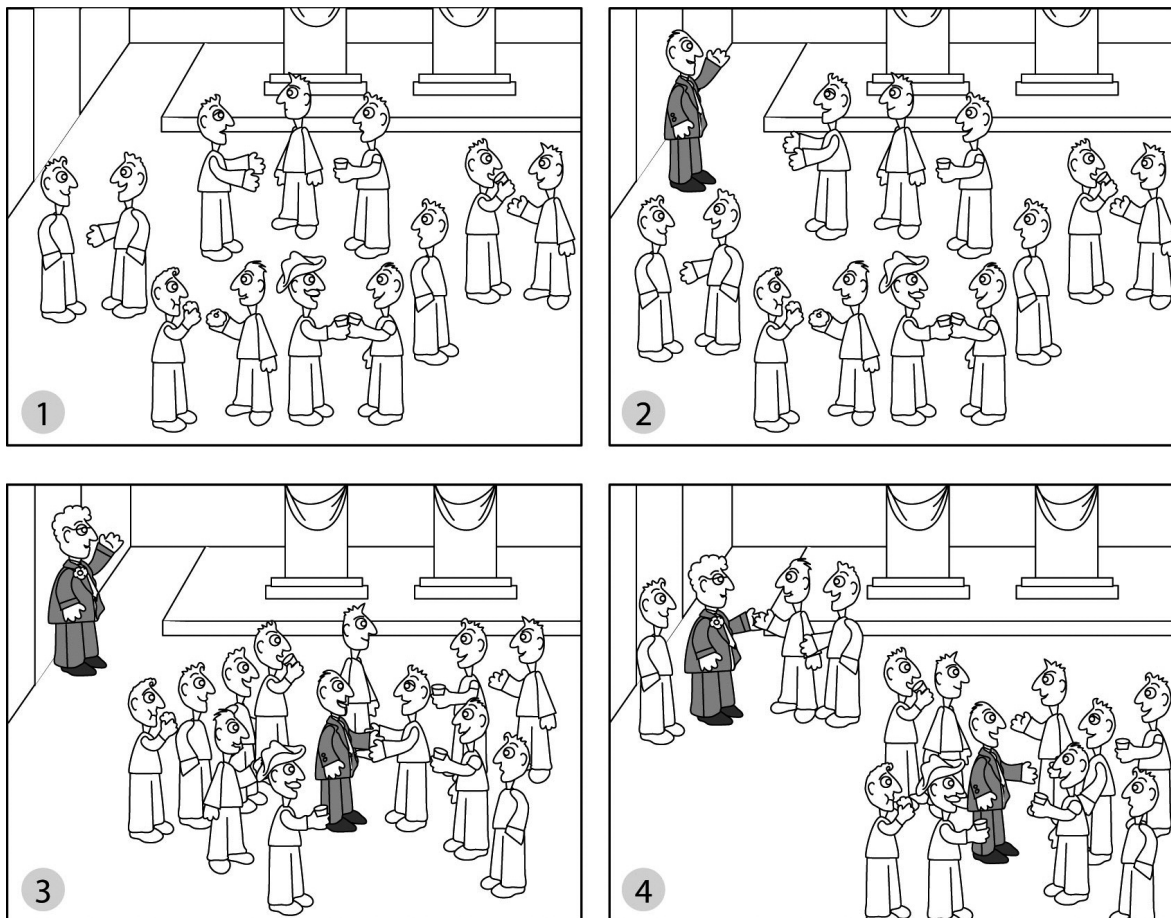


Fig. 2. Representación del mecanismo de Higgs en cuatro actos. Primer acto: el campo de Higgs, uniformemente distribuido. Segundo acto: aparece una partícula, inicialmente sin masa. Tercero: la partícula adquiere masa, mientras aparece una segunda partícula. Cuarto: la segunda partícula adquiere menos masa. Ilustró: Dulce M. Aguilar (IFUNAM)

trabajo no será fácil, ni inmediato. La evidencia de hoy se basa, primero, en que la partícula recién descubierta tiene una masa que sería consistente con la predicha para el Higgs. Lo otro que se ha observado son algunos de los modos en que la nueva partícula decae, pues se trata de un objeto tan inestable, que sería imposible de observar directamente con las técnicas actuales. Para entender el esquema de decaimiento (es decir, qué tan probable es cada modo) se utilizan las predicciones del propio ME, mismas que hasta ahora se parecen a lo observado. Sin embargo, debe agregarse que los modos más importantes de decaimiento aún no se han podido medir. En un caso (la producción de pares de cuarks fondo-anti-fondo), porque el ruido que generan otras partículas presentes en las interacciones es mayor que la señal buscada. En otro caso (como la producción de pares de tauón-antitauón), porque lo observado hasta ahora es menor a lo predicho. La respuesta a esto último, sin embargo, es que (después de todo) los modelos sólo son eso, modelos. Cabe agregar que la teoría de un Bosón de Higgs único es sólo una alternativa posible dentro del ME.

Mientras las medidas continúan y la “higgsteria” aumenta, es interesante describir el contexto humano en que se gesta cualquier descubrimiento científico, y en particular éste en que la humanidad ha invertido diez mil millones de dólares, o sea, 2 por ciento de la deuda externa de México. Naturalmente, no es que México deba

poco (aunque algunos así lo piensen), sino que para obtener resultados tan benéficos para la humanidad, como la WWW, los países avanzados están dispuestos a invertir sumas considerables, que después recuperan con creces (tan sólo Google Inc. vale hoy doscientos mil millones de dólares). Sin embargo, como ocurrió con el viaje de Colón cuando la duración de su primer viaje sobrepasó a lo estimado, para el CERN la búsqueda del Bosón de Higgs no ha estado exenta de amenazas de amotinamiento por parte de algunos países miembros. Tal es el caso de Austria, quien en 2009 amenazó con retirarse. Más recientemente, ante la crisis europea, otros países miembro han dilatado y/o reducido su participación. Una iniciativa reciente del CERN fue crear un nivel especial de membresía para ciertos países, como México y Brasil (país que ya la ha solicitado). Tal medida ha sido interpretada por algunos como un intento por paliar las circunstancias económicas actuales, si bien la postura oficial del CERN es la de negar categóricamente que pudieran estar pasando por una crisis financiera. Otro síntoma de nerviosismo por parte del CERN es que en fechas recientes el laboratorio parece haber relajado un tanto el rigor de sus anuncios científicos. Por ejemplo, en diciembre de 2011 se emitió un resultado espectacular, del cual se tuvo que retractar meses después. Me refiero al aparente descubrimiento de neutrinos que viajarían a velocidades ligeramente superiores a la de la luz,

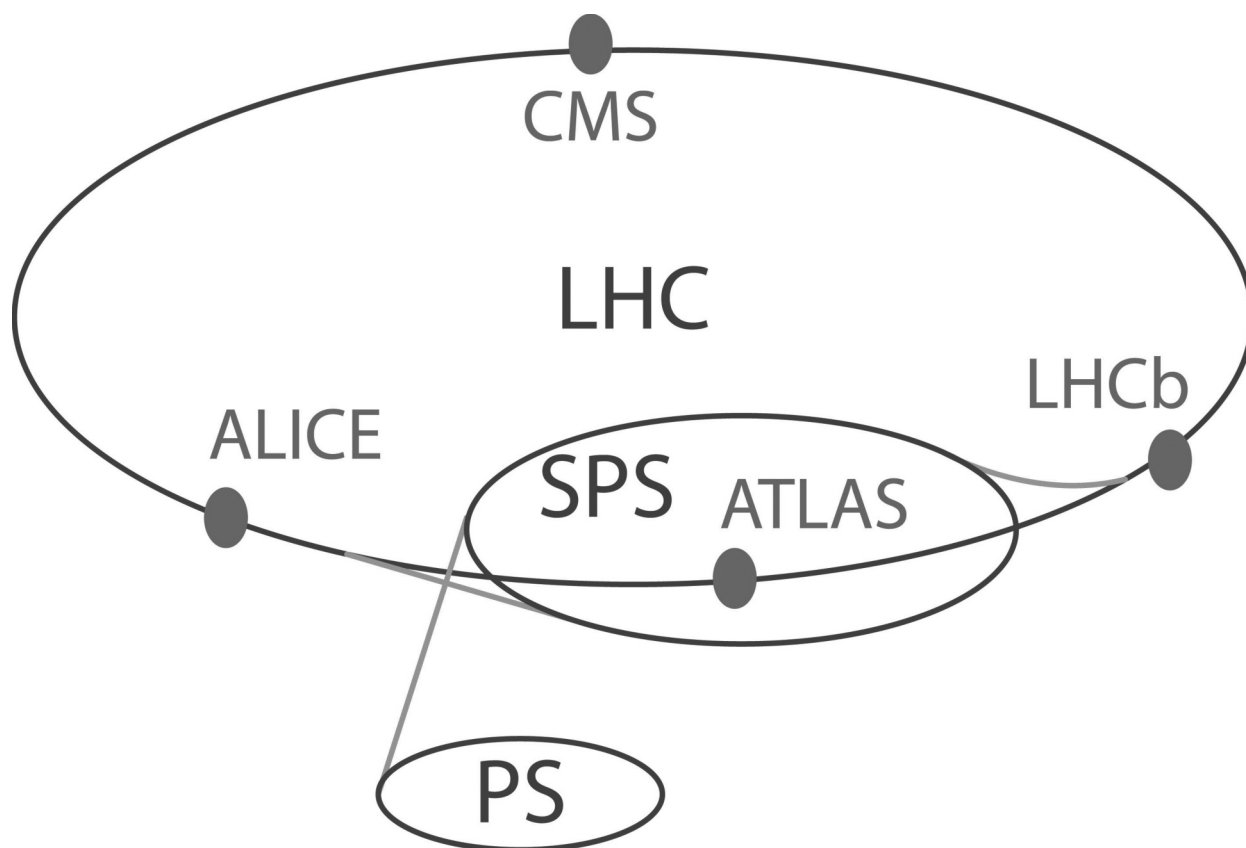


Fig. 3. Ilustración de tres aceleradores del CERN: el Proton Synchrotron (PS), que inyecta al Super Proton Synchrotron (SPS), que finalmente inyecta (en ambas direcciones) al anillo del Large Hadron Collider (LHC). A lo largo del perímetro (27 km) de este último se encuentran cuatro grandes experimentos. Ilustró: Dulce M. Aguilar (IFUNAM)

y que contradice las predicciones de uno de los pilares de la física: la teoría de la relatividad especial de Einstein. Una acción mediática anterior, no menos complicada, fue organizar prematuramente la inauguración del LHC en septiembre de 2008, e invitar a representantes gubernamentales del más alto nivel (originalmente a los propios jefes de estado), aun cuando ese acelerador no pasaba todas las pruebas. Como ya se mencionó, días antes del evento el LHC sufrió una grave falla que implicó que durante la ceremonia el acelerador estuviese ya detenido. El anuncio mismo del “posible” descubrimiento del Bosón de Higgs podría ser comparable con el anuncio (afortunado, pero erróneo) por parte de Colón, de haber llegado a la India. Un detalle curioso y revelador es que, a pesar de las protestas airadas de Peter Higgs (que es un ateo declarado) sobre achacarle su partícula a Dios, pareciera ser el CERN quien no objeta el sobrenombre, posiblemente por el impacto mediático que tiene el mantener entre los coautores a la mismísima divinidad.

Otro aspecto humano del “posible” descubrimiento del Bosón de Higgs es el debate sobre su verdadera relevancia para la ciencia y la humanidad. También se pregunta si será distinguido pronto, tal vez este mismo año, con un Premio Nobel. No pocas notas de prensa a nivel mundial equiparan ya a este descubrimiento con la teoría de la relatividad de Einstein, o con la doble hélice de Watson y Crick, cuyos impactos para la humanidad han sido indiscutiblemente enormes. ¿Será que una partícula tan elusiva como el Bosón de Higgs llegue a tener tanta influencia en nuestra vida cotidiana?

Hay que admitir que tal cosa es difícil de asegurar por el momento. Tampoco hay que olvidar que, de acuerdo a la evidencia actual, la materia que explica el ME (multiplicada por c^2) no representa ni el 5 por ciento de la energía del universo, mientras que otro 25 por ciento lo constituye la llamada materia oscura, y el 70 por ciento restante es la llamada energía oscura.

En todo caso, ¿a quién se le otorgaría este Premio Nobel? Resulta natural pensar en el propio Peter Higgs, y en ese sentido se ha expresado, por ejemplo, su célebre compatriota Stephen Hawking. Sin embargo, es de justicia imaginar que los líderes de los experimentos del Atlas y CMS esperen, al menos, compartir tal honor. Pero, ¿se podrá otorgar un Nobel a un “posible” descubrimiento?, o habrá que esperar hasta el final de una historia que podría llegar demasiado tarde para Peter Higgs (de ochenta y tres años) y, por qué no decirlo, para el propio CERN. Cabe mencionar que en el Tevatrón (cerrado hace un año por falta de financiamiento) hubo grupos experimentales que dedicaron su vida a la búsqueda del Higgs, y que sin duda aún sueñan con algún reconocimiento. Por cierto, el cuark “cima”, la penúltima pieza fundamental para el ME, fue descubierto en el propio Tevatrón. Sin embargo, los experimentos que llevaron a tan importante descubrimiento no obtuvieron (hasta ahora) un Premio Nobel, pues se juzgó que se trataba de algo demasiado “predictible”. Como dice el bolero de E. Pacheco Ojeda: “no hubo sorpresa alguna cuando te vi”. ¿Caerá sobre el Bosón de Higgs la misma maldición? Sólo Dios sabe. **U**