

FÍSICA DE PARTÍCULAS

«Hemos caído en la tentación de vender descubrimientos»

SERIE

LA FÍSICA DE PARTÍCULAS ANTES Y DESPUÉS DEL BOSÓN DE HIGGS

1. El problema de la supersimetría
Joseph Lykken y Maria Spiropulu
Junio de 2014
2. Los orígenes históricos del mecanismo de Higgs
Miguel Á. Vázquez-Mozo
Julio de 2014
3. Más allá del modelo estándar:
Una visión fenomenológica
Entrevista con Álvaro de Rújula
Agosto de 2014
4. Física de partículas y cosmología:
Perspectivas teóricas
Entrevista con Luis Álvarez-Gaumé
Septiembre de 2014

Entrevista con **Álvaro de Rújula**, investigador veterano del CERN, sobre la situación de la física de altas energías después del descubrimiento del bosón de Higgs

Ernesto Lozano Tellechea

EN SÍNTESIS

Álvaro de Rújula es desde 1977 miembro de la División de Teoría del CERN. En los años setenta, varios de sus trabajos ayudaron a apuntalar el modelo estándar de la física de partículas.

Reconocido experto en física de neutrinos, durante los últimos años también ha investigado fenómenos de altas energías en astrofísica, como los rayos cósmicos y los estallidos de rayos gamma.

De Rújula habla en esta entrevista sobre las consecuencias del descubrimiento del bosón de Higgs y sobre los principales problemas a los que aún se enfrenta la física teórica.



Álvaro de Rújula,

época en Harvard, varios de sus trabajos pusieron orden en la avalancha de nuevas partículas que desde hacía un tiempo habían comenzado a aparecer en los aceleradores. Junto con otros investigadores de la institución, De Rújula contribuyó en esos años a interpretar correctamente la estructura del mesón J/ψ , una partícula considerada clave en la historia del modelo estándar por cuanto confirmó la existencia de un nuevo tipo de quark, lo que consolidó el modelo que describía estos constituyentes elementales. También predijo con acierto las propiedades de varios hadrones y determinó la escala de energías característica de la cromodinámica cuántica, un parámetro fundamental de la naturaleza. Aunque las piezas básicas estaban sobre la mesa, aquel nexo entre teoría y datos empíricos permitió juntarlas y apuntalar la cromodinámica cuántica como descripción moderna y veraz de las interacciones fuertes.

El físico es desde 1977 miembro permanente de la División de Teoría del CERN, el laboratorio que en 1983 descubrió los bosones W y Z (las partículas mediadoras de la interacción débil) y, en 2012, el bosón de Higgs. En su búsqueda de la famosa partícula, una de las técnicas de análisis empleadas por la colaboración CMS se basó en un trabajo publicado en 2010 por De Rújula y otros colaboradores en *Physical Review D*. En él señalaban un método para deducir la presencia del bosón de Higgs a partir del entrelazamiento cuántico de algunos de sus productos de desintegración. «Es bonito porque se trata de la misma propiedad que Einstein consideraba un sinsentido de la mecánica cuántica», observa el investigador. «Pero aquello que una vez parecía una insuperable paradoja pasó luego a formar parte de la realidad de las cosas, hasta el punto de que hoy es un método que nos permite hacer descubrimientos.»

Dentro de la comunidad de físicos teóricos, De Rújula se considera principalmente un fenomenólogo: alguien a quien le gusta confrontar teoría y observaciones. «Al ver una cabra negra desde un tren en España, el experimentador dirá que todas las cabras españolas son negras; el fenomenólogo se limitará a afirmar que esa cabra en concreto es negra, y el teórico, que

físico del CERN y del Instituto de Física Teórica de la Universidad Autónoma de Madrid y el CSIC, ha sido testigo directo de buena parte de los avances que condujeron a la formulación definitiva del modelo estándar. En los años setenta, durante su

solo cabe concluir que la mitad izquierda de la cabra es negra», ejemplifica.

Reconocido experto en física de neutrinos, durante los últimos años ha dedicado parte de su tiempo a desarrollar una teoría no ortodoxa sobre los rayos cósmicos y los estallidos de rayos gamma, uno de los fenómenos astrofísicos más energéticos que se conocen. La razón, explica, no era otra que mantenerse con las uñas afiladas en unos años en los que la física de partículas casi no ofrecía indicios empíricos.

Tras una larga parada técnica, el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) tiene previsto reanudar sus experimentos a principios del año próximo. De Rújula habla en esta entrevista, realizada en el CERN, de las perspectivas experimentales y de los problemas que aún persisten en física de partículas.

¿Dónde se encuentra la física de partículas después del descubrimiento del bosón de Higgs?

Es el fin de una época. Y en la historia de la ciencia los finales de una época siempre han sido los principios de otra. No sabemos cuál será la siguiente, pero tampoco estamos más perdidos que nunca. Aún quedan problemas clave que tendrán que resolverse. Los principales son la materia oscura y la constante cosmológica. Que no sé hasta qué punto son física de partículas... aunque todo es física de partículas en el fondo, incluso la cosmología.

Desde hace dos o tres décadas, una de las razones más empleadas para argumentar a favor de la existencia de nuevas partículas por encima de la escala del modelo estándar ha sido el problema de la «naturalidad», o del «ajuste fino», del bosón de Higgs; el hecho de que, en principio, su masa debería ser muchísimos órdenes de magnitud mayor que la de los bosones W y Z . ¿Se trata de un problema fundamental, o es más bien un prejuicio estético?

Es un problema en el sentido de que no se ajusta a la estructura de las teorías que entendemos. Quizá no se trate del problema más fundamental al que nos enfrentamos, y puede que deje de serlo el día que aprendamos algo más. Pero me parece razonable concluir que, dentro de las teorías efectivas, que son las que entendemos hoy en día, sí representa un problema. Pero el modelo estándar es más que una teoría efectiva, es una teoría de verdad.



EL DETECTOR CMS, en el Gran Colisionador de Hadrones, fue uno de los dos grandes experimentos que en 2012 descubrieron el bosón de Higgs.

Una de las propuestas más antiguas para resolverlo ha sido siempre la supersimetría. ¿Qué opina al respecto?

No sé cuánto debería extenderme... Tengo un colega que opina que Diosa —porque él cree que Dios, si existiese, sería hembra— hizo el universo a voleo. Pero piensa que Diosa tiene también buen gusto, lo cual quiere decir que cada siete días, cuando debería descansar, se lee los artículos recientes de física y decide cuáles le agradan y cuáles no. Y cuando encuentra alguno irresistiblemente bonito, como el de la teoría de la relatividad general de Einstein, decide que es cierto. Y que debe serlo no solo para el futuro, sino también para el pasado. Así es como, poco a poco, se va construyendo esta elegantísima versión que tenemos de las leyes del universo.

La supersimetría es una teoría muy elegante, por lo que, según este punto de vista, tendría que ser cierta. Por eso hace unos veinte años Diosa decidió que el mundo fuese supersimétrico. Pero poco después la supersimetría se convirtió en una especie de religión para los científicos: algo en lo que creían con independencia de cualquier consideración observacional. Así que, como castigo, Diosa decidió que ya no le gustaba la supersimetría. Y por eso no la hemos descubierto.

Un colega muy recurrente...

Es cierto que la supersimetría posee un gran atractivo estético. Y que, por algún motivo, las teorías científicas básicas son siempre elegantísimas: no poseen más que unos pocos principios muy claros. A veces esos principios dan lugar a estructuras muy complejas, como el cerebro humano, pero las leyes fundamentales son siempre muy simples. De modo que tendemos a considerar que las teorías más bellas y sencillas son probablemente las más correctas. La supersimetría cae sin duda en el dominio de las teorías tan atractivas que deberían ser ciertas.

Sin embargo, todos los modelos explícitos de supersimetría son feísimos. La supersimetría predice que, por cada partícula que conocemos, tendría que haber otra de la misma masa.

«La idea general de la supersimetría es muy atractiva. Lo que no resulta nada elegante son las miles de maneras que se han propuesto para romperla»

Dado que esto no se observa, sabemos que la supersimetría ha de estar rota. Y lo que no resulta nada elegante son las miles de maneras que se han propuesto para romper la supersimetría. El modelo supersimétrico llamado «mínimo» lo es en su credibilidad. Así que, aunque uno se sienta inclinado a creer en la supersimetría, si mira con atención sus realizaciones prácticas comenzará a ser menos fanático.

Es ese mi caso. No me gusta ninguna de las posibilidades conocidas para romper la supersimetría, por lo que no creo que podamos decir nada concreto o esperanzador sobre ella a corto plazo. Naturalmente, me encantaría equivocarme.

El LHC ya ha descartado una parte considerable de los modelos supersimétricos más simples. Supongamos sin



IMAGEN DEL CÚMULO DE GALAXIAS ABELL 1689 tomada en 2002 por el telescopio espacial Hubble. La distribución inferida de materia oscura se muestra en colores falsos (azul).

embargo que las partículas supersimétricas comienzan a aparecer el año que viene, cuando el LHC opere a 13 o 14 teraelectronvoltios (TeV). En tal caso, ¿cree que las nuevas partículas estarían resolviendo el problema de la naturalidad del higgs, o la escala de la supersimetría estaría ya tan alta que continuaría habiendo un problema de ajuste fino?

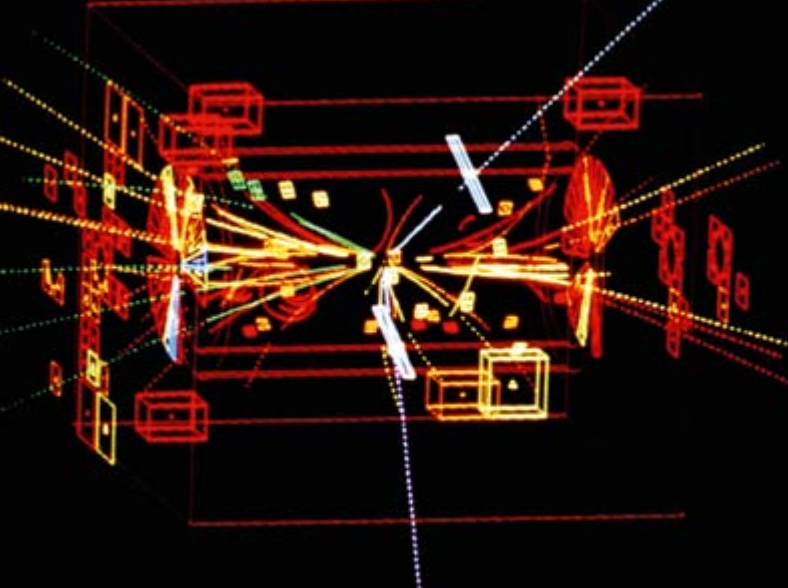
Depende de cómo aparezcan. Pero parece posible que sí, ya que, en términos generales, la supersimetría ayuda a resolver el problema de la naturalidad.

Este problema surge porque, en las teorías que conocemos, todo lo que no está prohibido es obligatorio. Y una de las cosas que no están prohibidas es que la masa del higgs tome un valor enorme, muchísimo mayor que el que se ha medido en el LHC. Como eso debería ocurrir de manera natural y no ocurre, hay algo que no entendemos. La supersimetría lo resuelve porque el «tirón» que la física conocida le da a la masa del higgs queda compensado por el «antitirón» que recibe de las partículas supersimétricas.

Otra particularidad de la masa del bosón de Higgs, aparte de su orden de magnitud, es el valor concreto que se ha medido en el LHC: 126 GeV. Ese valor parece implicar que el universo se encontraría muy próximo al límite de estabilidad. ¿Cómo lo interpreta?

Tiene pinta de ser una señal de algo. Es interesante porque quiere decir que, si el modelo estándar se extiende hasta energías mucho más altas sin modificaciones importantes, entonces el universo en el que vivimos sería metaestable: habría otro estado del universo con menos energía por unidad de volumen, por lo que, tarde o temprano, «caeríamos» a él.

Aún no sabemos exactamente cuándo ocurrirá algo así. El tiempo de vida medio del universo depende del valor de algunos parámetros que aún no hemos medido con suficiente precisión, como la masa del quark *top*. En todo caso, ese final catastrófico estaría aún muy lejos, mucho más que el cataclismo inevitable



PRIMERA DETECCIÓN DE UN BOSÓN Z, el mediador neutro de las interacciones débiles. La imagen fue captada el 30 de abril de 1983 por el experimento UA1 del CERN.

que sufrirá la Tierra cuando, dentro de varios miles de millones de años, el Sol se convierta en una estrella gigantesca y nos abra-se. O los cataclismos climáticos de los que seremos responsables.

Parece una coincidencia interesante. El bosón de Higgs nos ha enseñado algo que va más allá de su propia existencia: que el universo podría no ser estable. Pero no es preocupante, no va a ocurrir antes de las próximas elecciones.

Si tuviese que apostar, ¿dónde cree que surgirá la primera señal de física más allá del modelo estándar?

Nuestra especialidad es la única de la ciencia en la que nos ponemos muy tristes cuando las cosas funcionan bien. En general sucede lo contrario: la gente se alegra cuando todo marcha. Pero nosotros sufrimos porque el modelo estándar funciona de maravilla.

El modelo estándar no va a derrumbarse. Le pasará como a la mecánica de Newton, que fue superada por una física más precisa, como la de Einstein. Pero está tan bien establecido que no puede ser falso. No describe por completo la verdad, pero es parte de ella.

En cuanto a posibles señales de nueva física, de momento ya hay una, si bien puede discutirse hasta qué punto va más allá del modelo estándar: el hecho de que los neutrinos tengan masa y «oscilen» [que los neutrinos de una especie se transmuten espontáneamente en neutrinos de otra]. Pero si tuviera que apostar, diría que el próximo gran descubrimiento será una detección no gravitacional de la materia oscura. Creo que es cuestión de tiempo que alguno de los numerosos experimentos que en la actualidad la están buscando desde laboratorios subterráneos, como el de Canfranc, encuentren tarde o temprano una señal inconfundible de estas partículas. Espero que temprano.

¿Tiene algún candidato favorito para explicar la materia oscura?

No. Quizás el axion, aunque de ser el caso no lo encontrarán fácilmente. Pero incluso si la materia oscura está formada por axiones, me parece posible que se pueda identificar pronto.

Hay que tener en cuenta que entender la materia oscura nos obliga a inventar cinco sextas partes de la materia del universo. Para describirla hemos de idear una física completamente nueva. No creo que haya ninguna razón de peso para concluir

que la materia oscura deba ser algo sencillo, como la partícula supersimétrica estable y neutra más ligera, por ejemplo. La parte del universo que sí entendemos, la materia ordinaria, ya resulta bastante complicada. Las leyes que la rigen son muy sencillas, pero el número de ingredientes que la componen es elevado.

De las partículas ordinarias, probablemente las peor conocidas sean los neutrinos. ¿Espera sorpresas en física de neutrinos?

La sorpresa principal quizá ya ha llegado: los parámetros de la naturaleza parecen escogidos para que la física de neutrinos resulte lo más interesante posible al tiempo que experimentalmente factible. La masa de los neutrinos, cómo se mezclan unos con otros, la densidad de la Tierra, la densidad del Sol, las reacciones que hacen que el Sol brille, el radio del Sol, su perfil de densidad, el perfil de densidad de la Tierra, la existencia de piones y muones, que son partículas de vida larga que se desintegran en la atmósfera, la densidad de la atmósfera... Todos esos parámetros parecen haber sido escogidos para que los experimentos puedan realizar sus medidas de manera eficaz. Hasta ahora, la física de neutrinos ha sido siempre tal que nos permite medir lo que queremos.

Espero que el siguiente paso, consistente en medir no ya sus diferencias de masa, sino las masas mismas y la posible violación de *CP*, resulte posible de aquí a veinte años.

¿Hay algún mecanismo de generación de masa para los neutrinos que le parezca más atractivo que otros?

Hay una teoría muy bonita, debida a Ettore Majorana, el físico italiano que desapareció misteriosamente, según la cual neutrinos y antineutrinos serían la misma partícula. Estos neutrinos, que reciben el nombre de neutrinos de Majorana, serían más sencillos que los electrones. Acerca de los electrones podemos decir que hay cuatro: el electrón y el positrón, cada uno de ellos con sus dos estados de espín. Un neutrino, si es de Majorana, no sería cuatro partículas, sino solo dos.

Los neutrinos de Majorana sugieren además la existencia de una nueva forma de generar masa, conocida como «mecanismo de la sierra» —en el sentido de algo que sube y baja, como la sierra de Madrid—, según el cual la masa de los neutrinos provendría de física mucho más allá del modelo estándar.

Pero, de nuevo, no existe ningún modelo explícito que nos dicte las masas de los neutrinos ni cuánto se mezclan unos con otros. Todo eso resulta completamente arbitrario y no lo entendemos en absoluto. Hay unos cien artículos por mes sobre este tema y ninguno es concluyente.

Usted ha vivido varios descubrimientos históricos en física de partículas, como la «revolución de noviembre» de 1974, desencadenada por el hallazgo de la partícula J/ψ. ¿Cuál fue la importancia de aquellos hallazgos y cuál la del bosón de Higgs?

La revolución de noviembre del año 74 fue algo mucho más emocionante que el descubrimiento del bosón de Higgs. Con una diferencia enorme, ya que en aquella época nuestra ignorancia era muy superior a la actual. ¡Ni siquiera sabíamos si existían los quarks o no!

Aquello fue una revolución mucho más amplia y de consecuencias mucho mayores que el descubrimiento del bosón de Higgs, que en el fondo no es sino la decimoctava partícula del modelo estándar. Allí fue donde entendimos las otras diecisiete, por así decirlo.

Durante los últimos años usted se ha dedicado a investigar algunos fenómenos astrofísicos de alta energía, como los estallidos de rayos gamma y los rayos cósmicos. ¿Cómo nació su interés por ellos?

Dediqué varios años a esos problemas porque la física de partículas atravesaba un largo momento en el que no ocurría nada realmente nuevo. No había nuevos descubrimientos que explicar. Y como a mí lo que me gusta es enfrentarme a problemas resolubles, me dediqué a asuntos que no eran de física de partículas para entretenerme y para mantenerme con las uñas afiladas.

En mi opinión se trata de dos problemas físicos que admiten una solución muy sencilla, que, sin embargo, no es aceptada en absoluto por quienes trabajan en el tema.

¿Podría resumir su propuesta para explicar esos fenómenos?

Tanto la gran mayoría de los rayos cósmicos como todos los estallidos de rayos gamma están generados por explosiones de supernova. Me refiero a aquellas supernovas en las que el núcleo de la estrella colapsa y se convierte en una estrella de neutrones o en un agujero negro.

Nadie entiende en detalle cómo explotan esas supernovas, ya que se trata de un problema muy complejo para el que no disponemos de las herramientas matemáticas adecuadas. Las complicaciones aparecen porque las estrellas giran y porque el campo magnético desempeña un papel muy importante, dos aspectos difíciles de tener en cuenta.

«La gravedad cuántica es uno de los motivos más claros para pensar que tiene que haber nueva física»

Pero lo que sí se sabe es que, cuando sobre un objeto como una estrella de neutrones o un agujero negro cae materia desde el exterior, se emiten chorros de partículas en la dirección del eje alrededor del cual gira el astro. Esto se observa muy claramente en las imágenes de cuásares, enormes agujeros negros en otras galaxias que están engullendo su entorno.

Nuestra teoría, desarrollada fundamentalmente con Arnon Dar y Shlomo Dado [del Instituto Technion de Haifa, en Israel], es que los rayos cósmicos de alta energía y los estallidos de rayos gamma no se deben a la explosión más o menos esférica de la estrella, sino a los chorros de partículas que las supernovas producen cuando implosionan y explotan simultáneamente.

Esta manera de ver el fenómeno, como consecuencia de los chorros y no de la explosión esférica, es una de las diferencias entre nuestra teoría y las demás, tanto en lo que se refiere a los rayos cósmicos como a los estallidos de rayos gamma. Buena parte de las cosas que hoy en día se consideran establecidas eran predicciones de nuestra teoría, no de las teorías estándar.

¿Qué clase de predicciones?

Antes de que los datos lo hiciesen inevitable, nadie creía que los estallidos de rayos gamma estuvieran siempre asociados a una supernova. Nuestra teoría resultaba tan clara en este sentido

que, cierto día de 2003 en que se observó un estallido de rayos gamma, predijimos qué día se descubriría la supernova, con una precisión de ocho horas, y cómo sería la explosión. Y esa supernova se encontró tal y como habíamos vaticinado.

En otra explosión de rayos gamma, también muy especial, predijimos que al cabo de 40 o 50 días se verían en el cielo dos puntos de luz en ondas de radio, claramente separados y bien visibles. Eso es justo lo contrario de lo que cabría esperar de una explosión esférica. Nuestros puntos eran dos «bolas de cañón» debidas al chorro producido por el estallido de rayos gamma. La teoría nos permitía predecir cuándo esas bolas iban a alejarse lo suficiente para poder verlas como dos puntos separados en radio, que es una banda para la que hay una gran precisión angular. Eso también lo descubrieron.

Un problema reciente al que usted ha dedicado cierta atención es la discrepancia en las medidas del radio del protón: sin ninguna razón aparente, un nuevo tipo de experimento ha arrojado valores muy alejados de los obtenidos con anterioridad. Los autores creen posible que esa divergencia constituya una señal de nueva física.

¿Podría explicar cuál es el problema y cuál la explicación propuesta por usted?

El supuesto problema apareció porque la medida del radio del protón en cierto tipo de experimentos no concordaba con lo que cabía esperar a partir del modelo estándar y del conjunto de observaciones que sabemos que dependen del radio de esa partícula. En mi opinión, todo pudo ser consecuencia de un mal análisis de los datos.

En estos experimentos hay que realizar dos mediciones independientes: una que depende del radio del protón al cuadrado y otra que es función del radio del protón al cubo. Pero estas últimas, en lugar de tomarse directamente, se dedujeron a partir del análisis del radio del protón al cuadrado. Por tanto, no eran independientes. El cálculo era además terriblemente optimista desde el punto de vista estadístico. Como resultado, los investigadores afirmaron haber obtenido un parámetro con una precisión muy superior a la que realmente —opino— podía extraerse de los datos experimentales.

Todo ello tiene que ver con el hecho de que, en los experimentos de dispersión de electrones sobre protones, resulta muy difícil analizar los datos a pequeñas transferencias de impulso.

Usted es un físico teórico cuyo trabajo ha estado siempre muy ligado a los datos experimentales. ¿Qué opinión le merece la teoría de cuerdas?

Es otra teoría que debería ser cierta. Pero, como por ahora no ha establecido ningún contacto explícito con la realidad —es decir, no ha hecho ninguna predicción que pueda demostrarse experimentalmente falsa—, no forma realmente parte de la física.

Por más que esté basada en la física, que quepa la posibilidad de que sea cierta, que resulte muy elegante y que contenga la gravedad de un modo natural y precioso, sigue estando un poco más allá de la filosofía natural. Con énfasis en *natural*, que quiere decir observable.

¿Y qué piensa de la gravedad? ¿Está la física actual muy lejos de explicar la gravedad cuántica?

En este asunto el único paso aceptable que se ha dado es la teoría de cuerdas. Y la teoría de cuerdas implica consecuencias revolucionarias, como que el espacio y el tiempo no tienen cuatro dimensiones en total, sino diez u once, y que las dimensiones

extra no se ven porque estarían enrolladas sobre sí mismas, formando un diminuto subespacio en cada punto del espacio normal... Todas ellas constituyen elegantes posibilidades que, quizá, podrían estudiarse independientemente de la teoría de cuerdas. Eso es algo en lo que, desgraciadamente, no hemos avanzado mucho. El que aún no dispongamos de una teoría cuántica de la gravedad es algo que debería quitarnos el sueño a todos, por lo menos un rato, todas las noches.

La gravedad cuántica es uno de los motivos más claros para pensar que tiene que haber nueva física más allá de la que conocemos. Hay quien opina que las propiedades del universo original observadas hoy en día ya aportan una pista de que también la gravedad es un fenómeno cuántico. Aunque establecer esa conclusión a partir de los datos disponibles es discutible.

Supongamos que, al final de su vida útil, los experimentos del LHC a 14 TeV no descubren nada más. La materia oscura no aparece, tampoco lo hacen las partículas supersimétricas, y los acoplamientos del bosón de Higgs con el resto de las partículas se miden y coinciden a la perfección con los predichos por el modelo estándar. ¿Cree que una situación así afectaría a la manera de pensar en la nueva física?

No. Si se hicieran experimentos a una energía cien veces mayor que la actual y no se encontrase nada nuevo, entonces sí podría haber un impacto importante en la comunidad. Pero en este caso no creo que cambiase casi nada, ya que solo vamos a aumentar la energía en un factor dos.

¿Influiría una situación semejante en las posibilidades de financiar un próximo acelerador?

Es muy probable que afectase negativamente. Pero de eso tenemos la culpa los físicos. Antes no decíamos «puedo prometer y prometo», como Adolfo Suárez, sino «puedo buscar y busco». Y si no encontrábamos nada, seguíamos buscando. Pero esta evolución de la sociedad hacia un modelo mercantil ha hecho que también nosotros «vendamos» cosas; en particular, que vendamos descubrimientos y promesas de descubrimientos. Eso es un error, porque si luego no encontramos nada, quedaremos en una mala posición.

Lo que siempre se ha hecho es recordar que, cada vez que se aumenta la precisión o la energía en un factor de diez, típicamente se encuentra algo nuevo. Si adoptásemos esa actitud, en lugar de la de entrístecernos porque todo funciona tan bien, no habría ningún motivo para detenernos donde estamos, ya que sabemos que aún quedan problemas por resolver. De ese modo nos resultaría más fácil hablar con quienes nos financian.

La física no es una máquina de producir descubrimientos. Es una máquina de producir conocimiento. Y de generar resultados que sirven en otros campos. Todo el mundo cita la Web como producto de un programa que escribió Tim Berners-Lee cuando trabajaba en el CERN para que los ordenadores se comunicasen con eficacia. Es un ejemplo, pero hay muchos más. La primera pantalla táctil, que hoy todo el mundo tiene en su teléfono de bolsillo, también se construyó en el CERN. Radiografías de baja exposición, hadroterapia, electrónica de precisión, manejo de datos en cantidades gigantescas... todos ellos han aparecido como productos secundarios de la física fundamental. Y no me refiero solo a la física de partículas.

Todo eso debería apreciarse. Luego hay otro efecto que tampoco se valora, pero porque no tiene precio, que es el avance del conocimiento.

¿A qué atribuye esa inclinación a prometer descubrimientos?

Tiene que ver con la cultura general de la sociedad. Ya no se lucha por ideas básicas, sino solo por objetivos económicos. Se ha rebajado catastróficamente el nivel intelectual y ético de aquello que mueve a la sociedad. Y en esa rebaja general de los valores humanos quizá se salven las artes, pero no tanto la ciencia.

¿Ha llegado la física teórica a un nivel de complejidad tan elevado que obstaculiza su comprensión por parte del gran público?

No. El nivel de complejidad no es grande. Los elementos esenciales de nuestra comprensión de las leyes físicas resultan muy sencillos y pueden enseñarse a cualquiera. Si un físico no sabe explicarlos, es que él no los entiende. Puede que el lego no comprenda los detalles matemáticos, pero las ideas básicas casi siempre pueden expresarse en términos sencillos.

Cuando se anunció el descubrimiento del bosón de Higgs, muchas personas que reconocían no entender los detalles del hallazgo mostraron sin embargo una alegría sincera. ¿A qué cree que se debió?

A que somos seres humanos. Y lo que distingue a los seres humanos de los monos es nuestra capacidad para hacernos preguntas sobre cómo son las cosas y, a veces, incluso contestarlas. Solo se trata de una diferencia de grado, pero es una diferencia de grado enorme entre el ser humano y los simios. Bueno, eso y la capacidad para tocar el violín, que es todavía más difícil que la ciencia básica. La gente tiene una pulsión fundamental por entender en qué universo vive y cómo funciona. Es algo básico que compartimos todos. Un interés por la realidad.

Ernesto Lozano Tellechea es doctor en física teórica y editor de INVESTIGACIÓN Y CIENCIA.

PARA SABER MÁS

Proton magnetic form factor in asymptotically free field theories. Álvaro de Rújula en *Physical Review Letters*, vol. 32, págs. 1143-1145, 20 de mayo de 1974.

Is bound charm found? Álvaro de Rújula y Sheldon Glashow en *Physical Review Letters*, vol. 34, n.º 1, págs. 46-49, 6 de enero de 1975.

Hadron masses in a gauge theory. Álvaro de Rújula, Howard Georgi y Sheldon Glashow en *Physical Review D*, vol. 12, n.º 1, págs. 147-162, 1 de julio de 1975.

Demystification of electroproduction local duality and precocious scaling. Álvaro de Rújula, Howard Georgi y David Politzer en *Annals of Physics*, vol. 103, págs. 315-353, febrero de 1977.

An introduction to cosmic rays and gamma ray bursts, and to their simple understanding. Álvaro de Rújula en *Proceedings of the 18th International Conference on General Relativity and Gravitation*; dirigido por S. M. Scott y D. E. McClelland. Sydney, julio de 2007. Disponible en arxiv.org/abs/0711.0970

QED confronts the radius of the proton. Álvaro de Rújula en *Physics Letters B*, vol. 697, n.º 1, 21 de febrero de 2011. Disponible en arxiv.org/abs/1010.3421

Fifty years of Yang-Mills theories: A phenomenological point of view. Álvaro de Rújula en *Fifty years of Yang-Mills theory*, dirigido por G. 't Hooft. World Scientific, 2005. Disponible en arxiv.org/abs/hep-ph/0404215

EN NUESTRO ARCHIVO

Mundos oscuros. Jonathan Feng y Mark Trodden en *lyC*, enero de 2011.

¿Esconde el bosón de Higgs nueva física? John Ellis en *lyC*, diciembre de 2012.

Mensajeros fantasmales de nueva física. Martin Hirsch, Heinrich Päs y Werner Porod en *lyC*, junio de 2013.

Cuarenta años de libertad asintótica. Antonio González-Arroyo en *lyC*, junio de 2013.

El problema del radio del protón. Jan Bernauer y Randolph Pohl en *lyC*, abril de 2014.