

La FÍSICA

Ilustraciones: Raúl Cruz

A pende de una


CUERDA

Daniel Martín Reina

Es posible que todos los procesos del Universo, desde la formación de una estrella hasta la vida, puedan explicarse a partir de unos diminutos hilos de energía que vibran.

DESPUÉS DE HABER revolucionado la física con sus teorías de la relatividad especial y general, Albert Einstein concibió un sueño: quiso reunir en un solo modelo la explicación de todas las fuerzas fundamentales de la naturaleza. Decidió tratar de construir lo que él llamaba una “teoría de campo unificada”. Su búsqueda fue tan intensa que le llevó los últimos 30 años de su vida y lo condujo a aislarse de la comunidad científica y rechazar la principal línea de investigación de la física de entonces, la mecánica cuántica.

Einstein fracasó en su intento de unificar la física. La empresa resultó ser colosal, incluso para un ingenio como el suyo. Pero en estas últimas décadas, el esfuerzo de muchos físicos y matemáticos empujados por el espíritu de Einstein parece estar



cerca de dar resultados. La candidata más prometedora para darnos una descripción completa y unificada de la física es la llamada teoría de cuerdas. Esta teoría —que más bien es una clase de teorías similares— nos depara algunas sorpresas dignas de la mejor ciencia-ficción: cuerdas vibrantes muchísimo más pequeñas que un átomo, un espacio de 10 dimensiones, membranas de tamaño gigantesco y universos paralelos.

Seguro que ni en sus sueños más extraños se imaginó Einstein algo así.

Los problemas de la física moderna

Nuestra visión actual del Universo se basa en dos teorías físicas muy distintas: la relatividad general de Einstein y la mecánica cuántica. La primera describe el espacio a gran escala y nos ayuda a estudiar objetos de masas muy grandes, como los hoyos negros y las galaxias. En la teoría de la relatividad general el espacio es como una cama elástica que se curva debido a la masa de los cuerpos. Eso es lo que sentimos como gravedad. Pero los elementos más pequeños del Universo, como los átomos y las partículas subatómicas, se rigen por las leyes de la mecánica cuántica. Su comportamiento es muy diferente a lo que estamos acostumbrados, tanto que desafía nuestro sentido común: en el mundo cuántico reinan el azar y la incertidumbre.

Pues bien, resulta que estos dos pilares de la física moderna, tal y como se formulan en la actualidad, son incompatibles. El

conflicto surge cuando consideramos lo que ocurre a escalas pequeñísimas, cuando profundizamos en el espacio mucho más de lo que podría el microscopio más potente, hasta llegar a la llamada longitud de Planck. La longitud de Planck está determinada por los valores de ciertas constantes importantes de la física y es igual a 10^{-35} metros. Esta distancia es tan pequeña, que si ampliásemos un átomo hasta tener el tamaño de un supercúmulo de galaxias, la longitud de Planck correspondería a ¡la altura de un árbol! Una vez que llegamos a la escala de Planck, la indeterminación cuántica se hace tan grande que el espacio se convierte en una olla a presión caótica y turbulenta, donde el propio concepto de espacio pierde su significado. Esta situación choca de lleno con la noción de espacio suave, liso y tranquilo que es el principio fundamental de la relatividad general. En la práctica, esto significa que a esa escala las ecuaciones de la teoría de la relatividad general y las de la mecánica cuántica, combinadas, dan resultados absurdos, lo que es como decir que no se pueden combinar.


Ahí no para la cosa. Hay otro asunto menos evidente pero igual de espinoso. Sabemos, por ejemplo, que la masa del electrón es de 9.11×10^{-31} kg, pero no sabemos por qué tiene ese valor y no otro. Lo mismo se puede decir de otras propiedades físicas fundamentales de las partículas, como sus cargas eléctricas y sus masas. ¿Por qué tienen los valores que tienen? La física no lo puede explicar.

Está claro que hay algunos problemas con la teoría actual, pero ¿puede resolverlos la teoría de cuerdas?

Todo es cuerda

La materia está compuesta de átomos. En su interior, los electrones orbitan alrededor del núcleo, donde se encuentran los protones y los neutrones, que a su vez están formados por quarks. Se dice que electrones y quarks son *partículas elementales* porque no tiene estructura interna: son los elementos más simples que se pueden concebir. Estas partículas son tan pequeñas que se las considera puntuales, es decir, que no tienen dimensiones, como un punto. Conocemos sólo 12 partículas verdaderamente elementales.

Si adoptamos la teoría de cuerdas, habría que añadir otro escalón en los constituyentes básicos de la materia: todo lo que hay en el Universo, desde la partícula más pequeña hasta la galaxia más grande, está compuesto por un único ingrediente fundamental: unos diminutos hilos de energía que por analogía fueron bautizados con el nombre de cuerdas. Las cuerdas de un violín vibran con distinta frecuencia y crean las notas musicales. De manera análoga, cuerdas diminutas vibran de diferentes modos para formar las partículas elementales de la naturaleza. La masa, la carga y el resto de las propiedades que diferencian a unas partículas de otras son el resultado de la manera en que vibran las cuerdas que las componen. En esta sorprendente visión de la naturaleza, la cuerda que constituye



un electrón y la cuerda que constituye un quark son lo mismo y sólo se distinguen en la forma de vibrar; en la “nota” que tocan, podríamos decir.

La cuarta dimensión

A principios de 1919 Theodor Kaluza, joven investigador alemán, intentaba comprender las implicaciones de la nueva teoría de la relatividad general, con la que Albert Einstein describía la fuerza gravitacional. Como buen matemático, Kaluza se preguntó qué aspecto tomarían las ecuaciones de Einstein para la gravedad si se añadía una cuarta dimensión al espacio. Lo que halló fue que su versión de la relatividad general en cuatro dimensiones espaciales y una temporal, incluía un nuevo conjunto de ecuaciones que describían otra fuerza. Cuando escribió estas otras ecuaciones, vio que le resultaban conocidas: eran exactamente las mismas que James Clerk Maxwell había escrito casi 60 años antes para describir la fuerza electromagnética.

El descubrimiento de Kaluza era asombroso. Gravedad y electromagnetismo se habían considerado siempre como dos fuerzas independientes. Sin embargo, Kaluza había unido ambas en una sola teoría, pero al precio de proponer la existencia de lo que nadie había visto nunca: una cuarta dimensión espacial.

El trabajo de Kaluza fue publicado en 1921 gracias a la recomendación de Albert Einstein. Con todo, su propuesta no despertó mucho interés. El principal

problema era que no tenía en cuenta para nada la teoría cuántica. El propio Einstein perdió rápidamente su entusiasmo inicial, pese a que en 1926 el físico sueco Oskar Klein recogió la estafeta de Kaluza y halló la manera de incorporar la mecánica cuántica a la teoría.

La realidad es que Kaluza y Klein iban muy por delante de su tiempo. Después de darse por muerta a finales de la década de los 20, la idea de Kaluza y Klein resurgió casi medio siglo después gracias a la teoría de cuerdas.

Todo comenzó a finales de los años 60, cuando Gabriele Veneziano, físico italiano que trabajaba en el CERN (siglas en francés del Consejo Europeo para la Investigación Nuclear, hoy Organización Europea para la Investigación Nuclear), trataba de entender la fuerza nuclear fuerte, como se llama a la interacción que mantiene unidos a los protones y neutrones en el núcleo de cada átomo. Parece que por casualidad cayó en sus manos un libro de matemáticas donde encontró una fórmula —la llamada función beta— inventada dos siglos antes por el célebre matemático suizo Leonhard Euler. Veneziano descubrió asombrado que la función beta de Euler, considerada una simple curiosidad matemática, encajaba perfectamente con los datos experimentales obtenidos.


El descubrimiento de Veneziano despertó cierto interés entre la comunidad científica. Así, la fórmula de Euler llegó a la pizarra de un joven físico, Leonard Susskind, quien dedicó meses a buscar

el significado físico de la fórmula matemática de Euler. Y lo que encontró fue sorprendente: esta fórmula describía una especie de partícula con una estructura interna que vibraba; no una partícula puntual, sino algo como una cuerda que se estira y contrae, una especie de goma elástica. La cuerda sería tan pequeña que podría seguir pareciendo puntual y, por consiguiente, podría ser coherente con las observaciones experimentales. Así nació la teoría de cuerdas.

Cómo cruzar el abismo

La principal novedad de la teoría de cuerdas es que el ingrediente básico que postula no es una partícula en forma de punto, como en los modelos anteriores, sino con una extensión espacial mínima. Según los cálculos, las cuerdas tendrían una longitud de 10^{-35} metros (la longitud de Planck, que es un billón de billones de veces más pequeña que un átomo típico). Esta sutil diferencia es la clave para tender un puente sobre el abismo que separa la gravedad y la mecánica cuántica.

Supongamos que queremos estudiar la forma de un objeto desconocido sin tocarlo ni iluminarlo. Una manera sería bombardear el objeto con proyectiles y obtener una imagen a partir de la trayectoria de los proyectiles después de interactuar con el objeto misterioso. Cuanto más pequeño sea el proyectil que utilizemos, mejor será la imagen obtenida. Y desde luego, el proyectil no puede ser más grande que el objeto de estudio. Así, si tenemos una san-



día, es buena idea utilizar aceitunas como proyectiles; mejor aún si se usan huesos de aceitunas. En cambio no es buena idea usar sandías si el objeto en cuestión es del tamaño de una aceituna.

Entonces, si queremos sondear con proyectiles el espacio a la escala de la longitud de Planck (escala en la que, como hemos visto, aparece el problema de compatibilidad entre la mecánica cuántica y la relatividad general), tendríamos que usar objetos más pequeños que la longitud de Planck. Pero según la teoría de cuerdas, los objetos más pequeños del Universo son precisamente de ese tamaño. No hay objetos más pequeños. En cierto sentido, se puede decir que el conflicto entre mecánica cuántica y relatividad general no existe, sino que se trata de una consecuencia de formular ambas teorías desde la perspectiva de partículas puntuales. La teoría de cuerdas afirma que éstas no existen y que nuestro viaje a las profundidades del espacio termina cuando alcanzamos la longitud de Planck. Ése es el límite que nos impone el Universo, y que no hemos tenido en cuenta.

Jugar a la cuerda

La teoría de cuerdas indica que las propiedades de una partícula elemental son consecuencia de la manera en que vibra la cuerda que la compone. Ninguna otra teoría física había podido explicar las propiedades de las partículas en términos de algo más fundamental. Pero ¿cómo se puede comprobar que las vibraciones de las cuerdas dan lugar a las propiedades que identifican a una partícula? En teoría, de una forma muy

sencilla. Bastaría coger una cuerda, agitarla y verificar los resultados.

En la práctica la cosa no es tan fácil. Las cuerdas son demasiado pequeñas para que podamos realizar este experimento. Los físicos se han visto obligados a estudiar las hipotéticas cuerdas de manera exclusivamente teórica. Pero ahí no paran las dificultades. Las ecuaciones de la teoría de cuerdas son tan complicadas, que no se conoce su forma exacta. Apenas somos capaces de obtener soluciones aproximadas de ecuaciones aproximadas. Y lo que es más preocupante, cuando se resuelven, dan lugar a un sinnúmero de partículas que nunca se han observado, algunas de las cuales viajarían más rápido que la luz, en flagrante violación de las leyes físicas que conocemos hoy.

Por suerte, las matemáticas se encargan de restringir las soluciones posibles. Al igual que las partículas, las cuerdas deben estar sujetas a las leyes de la relatividad y de la mecánica cuántica. Esto reduce considerablemente el número de modelos de cuerdas. También sería de esperar, si la teoría de cuerdas aspira a ser la teoría más fundamental de la naturaleza, que hubiese una *única* versión que pueda explicar las características del Universo tal cual lo conocemos. Desgraciadamente, no es así. Durante las últimas décadas se han desarrollado no una, sino cinco versiones distintas de la teoría de cuerdas que cumplen las condiciones mencionadas.

El asunto es delicado: cinco teorías de cuerdas diferentes que aspiran a explicar el Universo cuando sólo debería haber una. ¡Así no se unifica la física! Eso sí, todas


ellas comparten una sorprendente característica: requieren que el espacio tenga seis dimensiones más de las que vemos.

Las dimensiones ocultas

Nuestro mundo cotidiano funciona muy bien con las tres dimensiones espaciales y la dimensión temporal que le conocemos. No hay rastro de esas dimensiones adicionales que exigen las teorías de cuerdas. Entonces, ¿dónde están y por qué nadie las ha visto?

La idea es que son tan pequeñas que simplemente no somos capaces de apreciarlas. Para entender esto podemos pensar en una manguera. Vista desde lejos, parece un objeto unidimensional, una simple línea. Pero de cerca vemos que tiene grosor. En realidad es un cilindro muy largo. Al acercarnos y verla en una escala más reducida, se hace visible la segunda dimensión que rodea la manguera. Una hormiga podría recorrerla hacia delante y hacia atrás, pero también rodearla. Una manguera es un objeto de dos dimensiones: una muy larga y claramente visible desde lejos, otra enrollada y que se nos oculta a gran escala. Este ejemplo pone de manifiesto que las dimensiones pueden ser “extendidas”, largas y fácilmente visibles, o cortas, circulares y más difíciles de ver.

Algo parecido ocurriría en nuestro Universo, pero a una escala más profunda y fundamental. Según la teoría de cuerdas, si ampliásemos lo suficiente el espacio, llegaría un momento en que podríamos ver que en cada punto de las tres dimensiones extendidas hay seis dimensiones adicionales enrolladas. Éstas serían una parte



intrínseca de la estructura espacial: existirían en todas partes y en todo momento. Y su tamaño, según los cálculos de la teoría de cuerdas, sería del orden de la longitud de Planck, demasiado pequeñas como para que se hayan visto. Por tanto, cuando caminas por la calle, no sólo te estarías moviendo a través de las tres dimensiones extendidas, también podrías desplazarte a través de las dimensiones enrolladas. Claro que, al ser éstas tan pequeñas y estar dobladas sobre sí mismas, no podrías apreciar el viaje. Sólo una hormiga de un tamaño tan diminuto sería capaz de recorrerlas. O una cuerda.

La teoría M

Podemos admitir la posibilidad de que el Universo tenga dimensiones adicionales, siempre que sean lo suficientemente pequeñas. Pero ¿qué hacemos con las cinco versiones de la teoría de cuerdas? A finales de los años 80 y principios de los 90, la opinión más extendida era que cuando se profundizase lo suficiente en la comprensión de las cinco versiones, se llegarían a descartar todas menos una: la que corresponde a la naturaleza.

Entonces ocurrió algo sorprendente. En 1995, Edward Witten, el más afamado teórico de cuerdas del mundo, planteó una nueva y espectacular forma de abordar la teoría de cuerdas. Como el reflejo en varios espejos de una misma imagen, Witten demostró que las cinco teorías son en realidad cinco maneras diferentes de enfocar una misma teoría. Y para poder unificar todas las teorías de cuerdas en una sola, eran necesarias no 10, sino 11

dimensiones espaciotemporales (10 de espacio y una de tiempo). Witten llamó a esta teoría multifacética y desconocida *teoría M*, donde la “M” puede significar mágica, misteriosa o membrana, según el matiz que le quiera dar cada uno.

La teoría M es un nuevo y poderoso marco teórico que engloba a las cinco versiones de la teoría de cuerdas. De esta manera, los teóricos de cuerdas ya no tienen que distraerse en elegir a su candidato de entre las cinco posibilidades y pueden unir sus fuerzas para descubrir las propiedades de este nuevo modelo.

Conclusiones

La verdad es que es muy difícil resistirse al poder de seducción de la teoría de cuerdas. Cuando uno se da cuenta de que quizá todos los procesos del Universo, desde la formación de una estrella hasta la vida, podrían explicarse de una forma tan elegante a partir de un punto de partida tan simple —unos diminutos hilos de energía que vibran—, se comprende el entusiasmo de muchos físicos teóricos. Como dijo Einstein en una ocasión, refiriéndose a la relatividad general: ¡es tan bella que debe ser cierta!

Pero no todos están enamorados de esta teoría. Por mucha que sea su elegancia matemática, los científicos se plantean si existen razones físicas de peso para creer en un modelo que, conviene recordar, no está fundamentado en ninguna evidencia experimental. Nadie ha visto esas cuerdas ni las dimensiones espaciales enrolladas donde vibran. Empero, la prueba definitiva de la validez de una teoría consiste en contrastar las predicciones con los resultados

experimentales. Ésa es la diferencia entre la ciencia y la ciencia-ficción.

Por ello, defensores y detractores de esta teoría buscan con tesón desde hace tiempo una señal que decante la balanza a favor de uno u otro bando. Y puede que no tengamos que esperar mucho. A principios de 2008 está previsto que empiece a funcionar el acelerador de partículas conocido como Gran Colisionador de Hadrones (LHC), del CERN. Los físicos confían en que el LHC revele, entre otras cosas, si existen dimensiones espaciales adicionales.

En el caso de que los resultados apunten a la validez de la teoría de cuerdas, sólo se trataría del principio. A pesar de que en los últimos años ha habido extraordinarios avances que han mejorado nuestra comprensión de la teoría, lo cierto es que todavía no conocemos su estructura completa. La teoría de cuerdas presenta detalles tan profundos y complejos que se necesitará mucho tiempo antes de poder confirmar si estamos ante la tan buscada teoría de todo.

Mientras tanto, el sueño de Einstein y de muchos otros físicos pende de una cuerda. 🐛

Daniel Martín Reina, frecuente colaborador de *¿Cómo ves?*, es físico, egresado de Ciencias Físicas de la Universidad de Sevilla.