

El mundo sobre una cuerda

Freeman Dyson

BRIAN GREENE

The Fabric of the Cosmos: Space, Time, and the Texture of Reality
Knopf, Nueva York

1

En los años dorados del Partido Liberal en Inglaterra, antes de la Primera Guerra Mundial, Herbert Asquith era el patricio primer ministro y Winston Churchill era un político joven y revoltoso. En el turno de preguntas en la Casa de los Comunes, Churchill desafiaba frecuentemente a Asquith con afirmaciones provocadoras y preguntas incómodas. Tras uno de estos asaltos churchillianos, Asquith se lamentó en estos términos: «Ojalá supiera tanto de algo como ese joven sabe de todo». Tras leer este elocuente libro en que Brian Greene expone ante nosotros su visión del cosmos, siento una cierta simpatía por Asquith, que logró expresar a la perfección cuál ha sido mi reacción ante este libro.

Recomiendo el libro de Greene a cualquier lector no experto que busque una exposición actualizada de física teórica, escrita en un lenguaje coloquial que puede entender cualquiera. Para el lector no experto, mis dudas y reservas carecen de importancia. No es importante si el retrato del universo que nos ofrece Greene acabará por ser técnicamente preciso. Lo importante es que su retrato es coherente e inteligible, además de congruente con las observaciones recientes. Aun en el caso de que muchos de los detalles resultaran ser erróneos, el retrato es un gran paso hacia el entendimiento. El progreso en la ciencia suele construirse sobre teorías erróneas que se corrigen posteriormente. Es mejor equivocarse que ser impreciso. El libro de Greene explica al lector no experto dos temas esenciales de la ciencia moderna. Describe, en primer lugar, el camino histórico de observación y teoría que condujo de Newton y Galileo en el siglo XVII, a Einstein y Stephen Hawking en el XX. Luego nos muestra el estilo de pensamiento que condujo más allá de Einstein y Hawking a las teorías de moda en la actualidad. La historia y el estilo de pensamiento son auténticos, al margen de que permanezcan o no las teorías de moda.

En su libro *El universo elegante*, publicado originalmente en 1999 (la traducción española es de 2001), Greene nos brindó una exposición más detallada y técnica de la teoría de cuerdas, a la que ha dedicado su vida profesional como físico. El libro anterior lograba traducir muy bien las ideas abstrusas y abstractas de la teoría de cuerdas en una prosa legible. Al comienzo de su nuevo libro ofrece un breve resumen de la teoría de cuerdas tal y como la expuso en *El universo elegante*:

«[...] La teoría de supercuerdas empieza proponiendo una nueva respuesta a una vieja pregunta: ¿cuáles son los componentes más pequeños e indivisibles de la materia? Durante muchas décadas, la respuesta convencional ha sido que la materia está compuesta de partículas –electrones y quarks– que pueden modelarse como puntos que son indivisibles y que carecen de tamaño y estructura interna. La teoría convencional defiende, y los experimentos confirman, que estas partículas se combinan de diversos modos para producir protones, neutrones y la amplia variedad de átomos y moléculas que conforman todo lo que hemos encontrado.

La teoría de supercuerdas cuenta una historia diferente. No niega el papel crucial desempeñado por los electrones, los quarks y los demás tipos de partículas reveladas por los experimentos, pero defiende que estas partículas no son puntos. Según la teoría de supercuerdas, toda partícula está compuesta, en cambio, por un filamento diminuto de energía, varios cientos de billones de veces más pequeño que un solo núcleo atómico (mucho más pequeño de lo que podemos investigar actualmente), cuya forma se asemeja a la de una pequeña cuerda. Y del mismo modo que una cuerda de violín puede vibrar de acuerdo con diferentes modelos, cada uno de los cuales produce una nota musical diferente, los filamentos de la teoría de supercuerdas pueden también vibrar de acuerdo con modelos diferentes. Pero estas vibraciones no producen notas musicales diferentes; sorprendentemente, la teoría defiende que producen diferentes propiedades de las partículas. Una cuerda diminuta vibrando con un único modelo tendría la masa y la carga eléctrica de un electrón; según la teoría, una cuerda en vibración de este tipo sería lo que hemos llamado tradicionalmente un electrón; una cuerda diminuta que vibre con un modelo diferente tendría las propiedades que se requieren para identificarla como un quark, un neutrino o cualquier otro tipo de partícula. Todas las especies de partículas se unifican en la teoría de supercuerdas, ya que cada una de ellas surge de un modelo vibracional diferente ejecutado por la misma entidad subyacente».

Se trata de un hermoso comienzo para una teoría del universo, y puede que sea cierto. Para ser útil, una teoría científica no necesita ser cierta, pero sí que necesita ser verificable. Mis dudas sobre la teoría de cuerdas surgen del hecho de que en este momento no es verificable. Greene examina en sus capítulos 13 y 14 las perspectivas de los ensayos experimentales de la teoría. Los experimentos que describe abrirán con seguridad nuevas puertas al entendimiento de la naturaleza, a pesar de que no respondan a la pregunta de si la teoría de cuerdas es verdadera.

The Fabric of the Cosmos cubre un campo más amplio que *El universo elegante* y lo pinta con trazos más amplios. No es mucho el solapamiento existente entre los dos libros. Sólo el capítulo 12 del nuevo libro, que resume el anterior y nos ofrece lo esencial de la teoría de cuerdas sin entrar en los detalles, es en gran medida coincidente. El propio Greene sugiere que los lectores que hayan leído *El universo elegante* deberían leer sólo por encima el capítulo 12. A excepción de este capítulo, los dos libros cubren temas diferentes y pueden leerse independientemente. Tampoco ninguno de los dos constituye un prerrequisito para leer el otro. El nuevo libro es más sencillo y sería preferible que se leyera en primer lugar. Es posible que los lectores que

se atascaron a medio camino de *El universo elegante* encuentren el nuevo libro más digerible.

En la historia de la ciencia existe siempre una tensión entre revolucionarios y conservadores, entre quienes construyen grandes castillos en el aire y quienes prefieren poner un ladrillo detrás de otro sobre una base firme. El estado normal de tensión es entre jóvenes revolucionarios y viejos conservadores. Así son ahora las cosas, y así eran hace ochenta años cuando tuvo lugar la revolución cuántica. Yo soy un típico viejo conservador, no muy al tanto de las nuevas ideas y rodeado de jóvenes teóricos de cuerdas cuya conversación no pretendo entender. En la década de 1920, la edad dorada de la teoría cuántica, los jóvenes revolucionarios eran Werner Heisenberg y Paul Dirac, que realizaron sus grandes descubrimientos a los veinticinco años, y el viejo conservador era Ernest Rutherford, que los rechazó con su famosa afirmación: «Juegan con sus símbolos, pero nosotros demostramos los hechos reales de la Naturaleza». Rutherford era un gran científico, que quedó rezagado por la revolución que había contribuido a provocar. Esto viene a ser lo normal.

Hace cincuenta años, cuando yo era considerablemente más joven de lo que lo es ahora Greene, las cosas eran diferentes. La situación normal se invirtió. En aquella época, a finales de los años cuarenta y comienzos de los cincuenta, los revolucionarios eran viejos y los conservadores eran jóvenes. Los viejos revolucionarios eran Albert Einstein, Dirac, Heisenberg, Max Born y Erwin Schrödinger. Cada uno de ellos tenía una teoría enloquecida que pensaba que sería la clave para comprender todo. Einstein tenía su teoría del campo unificado, Heisenberg tenía su teoría de la longitud fundamental, Born tenía una nueva versión de la teoría cuántica que denominó reciprocidad, Schrödinger tenía una nueva versión de la teoría del campo unificado de Einstein que llamó las Leyes Finales del Campo Afín, y Dirac tenía una extraña versión de la teoría cuántica en la que cada estado tenía una probabilidad bien de más dos o de menos dos. La probabilidad, como la define el sentido común, es un número entre cero y uno que expresa nuestro grado de confianza en que sucederá un hecho. Una probabilidad de uno significa que el hecho sucede siempre; una probabilidad de cero significa que el hecho no sucede nunca. En el mundo de Alicia-en-el-país-de-lasmaravillas de Dirac, todo estado sucede bien más a menudo que siempre o menos a menudo que nunca. Cada uno de los cinco ancianos creía que la física necesitaba otra revolución tan profunda como la revolución cuántica que ellos habían liderado hacía veinticinco años. Cada uno de ellos creía que sus respetivas ideas suponían el primer paso crucial en un camino que conduciría al próximo gran avance.

Los jóvenes como yo pensábamos que todos estos viejos famosos estaban haciendo el ridículo, por lo que decidimos hacernos conservadores. Los principales actores jóvenes eran entonces Julian Schwinger y Richard Feynman en Estados Unidos, y Sin-Itiro Tomonaga en Japón. Cualquiera que conociera a Feynman se habría sorprendido al oír tildarlo de conservador, pero la definición es correcta. El estilo de Feynman era efervescente y maravillosamente original, pero la sustancia de su ciencia era conservadora. Él, Schwinger y Tomonaga comprendieron que la física que habían heredado de la revolución cuántica era excelente. Las ideas físicas eran, en lo esencial, correctas. No necesitaban empezar otra revolución. Sólo necesitaban tomar las teorías físicas existentes y limpiar los detalles. Yo les ayudé en las últimas fases de la limpieza. El resultado de nuestros esfuerzos fue la teoría moderna de la electrodinámica

cuántica, la teoría que describe con precisión el modo en que se comportan los átomos y la radiación.

Esta teoría fue un triunfo del conservadurismo. Tomamos las teorías que habían inventado Dirac y Heisenberg en los años veinte y las cambiamos lo mínimo posible para conseguir que fueran consistentes en sí mismas y fáciles de utilizar. La naturaleza sonrió a nuestros esfuerzos. Cuando se realizaron nuevos experimentos para verificar la teoría, los resultados concordaban con la teoría hasta nada menos que once cifras decimales. Pero los viejos revolucionarios no estaban aún convencidos. Después de que se anunciaran los resultados de los primeros experimentos, abordé descaradamente a Dirac y le pregunté si estaba contento con el gran éxito de la teoría que había creado hacía veinticinco años. Dirac, como de costumbre, guardó silencio durante un rato antes de contestar. «Podría haber pensado que las nuevas ideas eran correctas -dijo- de no haber sido tan feas.» Ese fue el final de la conversación. Tampoco Einstein quedó impresionado por nuestro éxito. Durante el tiempo en que los jóvenes físicos del Institute for Advance Study de Princeton estábamos profundamente enfrascados en el desarrollo de la nueva electrodinámica, Einstein se encontraba trabajando en el mismo edificio y paseando todos los días por delante de nuestras ventanas en su camino a y desde el instituto. Nunca vino a nuestros seminarios y nunca nos preguntó por nuestro trabajo. Permaneció fiel a su teoría del campo unificado hasta el final de su vida.

Al rememorar esta historia no siento ninguna vergüenza de ser hoy un conservador. Pertenezco a una generación que vio triunfar el conservadurismo y permanezco fiel a nuestros ideales del mismo modo que Einstein permaneció fiel a los suyos. Pero mi generación está ahora retirándose de la escena y me pregunto qué es lo que traerá el próximo ciclo de la historia. Una vez que los revolucionarios de la teoría de cuerdas hayan envejecido, ¿qué pensará de ellos la próxima generación? ¿Habrá otra generación de jóvenes revolucionarios? ¿O tendremos de nuevo una inversión del estado normal de cosas, con una nueva generación de jóvenes conservadores rebeldes contra los ancianos pioneros de la teoría de cuerdas? Mi generación no estará presente para ver las respuestas a estas preguntas.

2

Uno de los principales temas del libro de Greene es la desconexión entre la teoría de la relatividad general de Einstein y la mecánica cuántica, los dos descubrimientos que revolucionaron la física a comienzos del siglo XX. La teoría de Einstein es fundamentalmente una teoría de la gravedad, que describe el campo gravitacional como una curvatura de espacio-tiempo, y que describe la caída de una manzana como la respuesta de la manzana a la curvatura de espacio-tiempo inducida por la masa de la Tierra. La teoría de Einstein trata la manzana y la Tierra como objetos clásicos con posiciones y velocidades definidas con precisión, sin prestar atención a las incertidumbres introducidas por la mecánica cuántica. La manzana y la Tierra son lo bastante grandes como para que las incertidumbres cuánticas sean desdeñables.

Por otro lado, la mecánica cuántica describe el comportamiento de los átomos y las partículas elementales, para las que las incertidumbres cuánticas tienen una influencia dominante, y no presta atención a la gravedad. Los átomos y las partículas son lo

bastante pequeños como para que cualesquiera campos gravitacionales que induzcan sean desdeñables. Las dos teorías dividen el universo de la física entre ellas sin solaparse: la relatividad general se ocupa de objetos grandes, de manzanas a galaxias, y la mecánica cuántica se ocupa de objetos pequeños, de moléculas a cuantos de luz. La relatividad general es importante para la astronomía y la cosmología, mientras que la mecánica cuántica es importante para la física y la química atómicas. Esta división del universo funciona bien a todos los efectos prácticos. Funciona bien porque los efectos gravitacionales de los átomos o partículas individuales son imperceptiblemente pequeños.

Greene da por sentado –y en este punto la gran mayoría de los físicos coinciden con él– que la división de la física en teorías independientes para objetos pequeños y grandes es inaceptable. La relatividad general se basa en la idea de que el espacio-tiempo es una estructura flexible de la que tiran y empujan los objetos materiales. La mecánica cuántica se basa en la idea de que el espacio-tiempo es un marco rígido dentro del cual se realizan observaciones. Las dos teorías son matemáticamente incompatibles. Greene cree que existe una necesidad urgente de encontrar una teoría de la gravedad cuántica que se aplique por igual a objetos grandes y pequeños. Gravedad cuántica significa una teoría unificada que funcione como la relatividad general para objetos grandes y como la mecánica cuántica para objetos pequeños. A pesar de los esfuerzos heroicos de muchas personas, no se encontró ninguna teoría consistente de la gravedad cuántica hasta que surgió la teoría de cuerdas. El primero y mayor triunfo de la teoría de cuerdas fue su éxito a la hora de unificar la relatividad general y la mecánica cuántica. Ese éxito le dio a sus descubridores una justificación para defender que podría ser una «teoría del todo». La teoría de cuerdas está aún incompleta y lejos de poder aplicarse en la práctica, pero nos proporciona en principio una teoría de la gravedad cuántica.

Como conservador que soy, no estoy de acuerdo en que una división de la física en teorías independientes para lo grande y lo pequeño sea inaceptable. Estoy satisfecho con la situación en que hemos vivido durante los últimos ochenta años, con teorías independientes para el mundo clásico de las estrellas y los planetas, y el mundo cuántico de los átomos y los electrones. En vez de insistir dogmáticamente en la unificación, prefiero plantear la pregunta de si una teoría unificada tendría algún significado físico real. La esencia de cualquier teoría de la gravedad cuántica es que existe una partícula denominada gravitón que es un cuanto de gravedad, del mismo modo que el fotón es un cuanto de luz. En la gravedad cuántica se necesita una partícula de este tipo, porque la energía se transporta en pequeños paquetes discretos llamados cuantos, y un cuanto de energía gravitacional se comportaría como una partícula.

La pregunta que estoy planteando es si existe algún modo concebible en que podamos detectar la existencia de gravitones individuales. Es fácil detectar fotones individuales, como mostró Einstein, mediante la observación de la conducta de electrones expulsados de superficies metálicas por la luz que incide sobre el metal. La diferencia entre fotones y gravitones estriba en que las interacciones gravitacionales son enormemente más débiles que las interacciones electromagnéticas. Si se trata de detectar gravitones individuales mediante la observación de los electrones expulsados de una superficie metálica por la incidencia de ondas gravitacionales, se descubre que hay que esperar más tiempo que la edad del universo antes de que existan

posibilidades de ver un gravitón. Yo barajé varios modos posibles de detectar gravitones y comprobé que no funcionaba ni uno solo. Debido a la extrema debilidad de la interacción gravitacional, cualquier supuesto detector de gravitones ha de ser desmesuradamente grande. Si el detector posee una densidad normal, la mayor parte de él está demasiado lejos de la fuente de los gravitones para ser efectivo, y si se comprime a una densidad elevada en torno a la fuente, se colapsa en un agujero negro.

Parece existir una conspiración de la naturaleza para impedir que el detector funcione.

Propongo como una hipótesis a verificar que, en principio, es imposible observar la existencia de gravitones individuales. No defiendo que esta hipótesis sea cierta, sino sólo que no puedo encontrar ninguna prueba en contra de ella. Si es cierta, la gravedad cuántica carece de significado físico. Si los gravitones individuales no pueden observarse en ningún experimento concebible, entonces carecen de realidad física y podríamos considerarlos igualmente como inexistentes. Son como el éter, el medio sólido elástico que los físicos del siglo XIX imaginaban que llenaba el espacio. Se suponía que los campos eléctricos y magnéticos eran tensiones en el éter y se suponía que la luz era una vibración del éter. Einstein construyó su teoría de la relatividad sin el éter y demostró que el éter, de existir, sería inobservable. Se mostró encantado de librarse del éter, y esto es justo lo que yo siento acerca de los gravitones.

Según mi hipótesis, el campo gravitacional descrito por la teoría de la relatividad general de Einstein es un campo puramente clásico sin ningún comportamiento cuántico. Las ondas gravitacionales existen y pueden detectarse, pero son ondas clásicas y no colecciones de gravitones. Si esta hipótesis es cierta, tenemos dos mundos separados: el mundo clásico de la gravitación y el mundo cuántico de los átomos, descritos por teorías independientes. Las dos teorías son matemáticamente diferentes y no pueden aplicarse de modo simultáneo. Pero no puede surgir ninguna contradicción del hecho de utilizar ambas teorías, porque cualesquiera diferencias entre sus predicciones son físicamente indetectables.

Otro tema importante del libro de Greene es la interpretación de la mecánica cuántica y los extraños fenómenos del enredo cuántico. Greene dedica dos extensos capítulos, «Entangling Space» (El enredo del espacio) y «Time and the Quantum» (El tiempo y el cuanto), a este tema. Lleva a cabo un valioso esfuerzo por aclarar un tema notoriamente confuso. Pero su empeño se ve dificultado por insistir en que la mecánica cuántica debe incluir todo. Rechaza sin ninguna discusión seria la interpretación dualista de la mecánica cuántica, la idea de que hay dos mundos separados, el mundo clásico y el mundo cuántico, cada uno de los cuales sigue sus propias reglas. La visión dualista, que limita el alcance de la mecánica cuántica a situaciones experimentales bien definidas, hace que los problemas de interpretación resulten mucho más sencillos.

La interpretación dualista de la mecánica cuántica afirma que el mundo clásico es un mundo de hechos, mientras que el mundo cuántico es un mundo de probabilidades. La mecánica cuántica predice lo que es probable que suceda, mientras que la mecánica clásica deja constancia de lo que sucedió. La división del mundo fue inventada por Niels Bohr, el gran contemporáneo de Einstein que fue responsable del nacimiento de la mecánica cuántica. Lawrence Bragg, otro gran contemporáneo, expresó la idea de Bohr con mayor sencillez: «Todo en el futuro es una onda, todo en el pasado es una

partícula». Como la mayor parte de nuestro conocimiento es conocimiento del pasado, la división de Bohr limita el alcance de la mecánica cuántica a una pequeña parte de la ciencia. Me gusta la división de Bohr, porque permite la posibilidad de que los gravitones puedan no existir. Si el alcance de la teoría cuántica es limitado, puede excluirse de ella legítimamente a la gravedad. Pero Greene no aceptará una limitación de este tipo. Tras describir brevemente el punto de vista de Bohr, dice:

«Durante décadas prevaleció esta perspectiva. Sin embargo, a pesar de su efecto sedante sobre la mente que se debate con la teoría cuántica, uno no puede evitar sentir que el fantástico poder predictivo de la mecánica cuántica significa que está valiéndose de una realidad oculta que subyace al funcionamiento del universo».

Yo prefiero el efecto sedante de la perspectiva sobre la mente de Bohr, mientras que Greene prefiere la realidad oculta. En su primer capítulo, Greene nos muestra lo que quiere decir con realidad oculta:

«La teoría de supercuerdas combina la relatividad general y la mecánica cuántica en una única teoría consistente [...]. Y por si eso no fuera suficiente, la teoría de supercuerdas ha revelado la amplitud necesaria para coser todas las fuerzas de la naturaleza y todas las de la materia en el mismo tapiz teórico. En suma, la teoría de supercuerdas es una candidata excelente a la teoría unificada de Einstein. Se trata de grandes afirmaciones y, de ser correctas, representan un monumental paso adelante. Pero el rasgo más asombroso de la teoría de supercuerdas, sobre el que tengo pocas dudas de que habría hecho latir con fuerza el corazón de Einstein, es su profundo impacto sobre nuestra comprensión de la estructura del cosmos [...]. En vez de las tres dimensiones espaciales y una única dimensión temporal de la experiencia común, la teoría de supercuerdas requiere nueve dimensiones espaciales y una dimensión temporal [...]. Como no vemos estas dimensiones adicionales, la teoría de supercuerdas está diciéndonos que hasta ahora no hemos vislumbrado más que una exigua porción de la realidad».

El penúltimo capítulo, «Teleporters and Time Machines» (Teleportadores y máquinas del tiempo), es un agradable interludio que describe algunas posibles aplicaciones del enredo cuántico y la relatividad general en ingeniería. El teleportador es un aparato que puede escanear un objeto en un lugar y reproducir una copia precisa del mismo en otro lugar muy alejado, utilizando el enredo cuántico para asegurarse de que la reproducción es exacta. La buena noticia es que un aparato de estas características es en principio posible. La mala noticia es que destruye inevitablemente el objeto que copia. La máquina del tiempo es un túnel a través del hiperespacio que conecta dos entradas que existen en diferentes lugares y tiempos en nuestro universo. Si puede encontrarse la entrada que es posterior en el tiempo, puede caminarse a través del túnel para salir en tu propio pasado. La buena noticia es que un túnel de estas características es una posible solución de las ecuaciones de la relatividad general. La mala noticia es que un túnel lo suficientemente largo para caminar a través de él requeriría más de la producción de energía total del Sol para mantenerlo abierto. No es probable que ni el teleportador ni la máquina del tiempo contribuyan mucho al bienestar de nuestros descendientes. Greene describe estas fantasías con una mezcla

adecuada de precisión científica y de ironía.

3

Hace tres años, en enero de 2001, me invitaron al Foro Económico Mundial en la localidad suiza de Davos. Brian Greene estaba también entre los invitados y nos pidieron que mantuviéramos un debate público sobre la pregunta «¿Cuándo lo sabremos todo?». En otras palabras, ¿cuándo se resolverán los últimos grandes problemas de la ciencia? La audiencia estaba integrada principalmente por magnates industriales y políticos. Nuestro debate estaba concebido para entretener a los magnates, no para brindarles una educación científica seria. Para hacerlo más divertido, le pidieron a Greene que adoptara una posición extrema que afirmara «Pronto», y a mí me pidieron que adoptara una posición extrema que afirmara «Nunca».

Esta es mi versión de la exposición inicial de Greene, reconstruida a partir de mi poco fiable memoria después de que regresáramos de Suiza. Dijo que esta generación de científicos es increíblemente afortunada. Dentro de unos pocos años o décadas, descubriremos las leyes fundamentales de la naturaleza. Las leyes fundamentales serán una serie finita de ecuaciones, como las ecuaciones de la electrodinámica de Maxwell o las ecuaciones de la gravitación de Einstein. Todo lo demás surgirá a partir de esas ecuaciones. Una vez que tengamos las ecuaciones fundamentales, hemos acabado. Ya no quedarán problemas fundamentales. Cuando sepamos las ecuaciones fundamentales de la física, todo lo demás, la química, la biología, la neurología, la psicología, etc., podrán reducirse a la física y explicarse por medio del uso de las ecuaciones. Todo lo que le restará hacer a los científicos es ciencia aplicada, ordenar detalles y utilizar las ecuaciones para resolver problemas prácticos. Si no somos lo suficientemente inteligentes para encontrar las ecuaciones, entonces dejaremos que nuestros nietos concluyan el trabajo. De un modo u otro, el final de la ciencia fundamental está próximo.

Greene dijo que su confianza en nuestra capacidad para encontrar las leyes fundamentales se basa en el hecho maravilloso de que las leyes de la naturaleza son sencillas y hermosas. La historia de la física muestra que esto es cierto en todas las leyes que hemos descubierto en el pasado. No necesitábamos hacer experimentos inacabables para descubrir las leyes. Calculábamos las leyes buscando ecuaciones que tenían la mayor sencillez y belleza matemáticas. Luego sólo se necesitaban unos pocos experimentos para verificar las ecuaciones y descubrir si nuestros cálculos eran correctos. Esto sucedía una vez tras otra, primero con las leyes del movimiento y la gravitación de Newton, más tarde con las ecuaciones del electromagnetismo de Maxwell, después con las ecuaciones de la relatividad especial y general de Einstein, luego con las ecuaciones de la mecánica cuántica de Schrödinger y Dirac. Ahora, con la teoría de cuerdas, el juego casi ha concluido. La belleza matemática de esta teoría es tan persuasiva que tiene que ser cierta y, si lo es, explica todo, desde la física de partículas hasta la cosmología.

Como estoy reconstruyendo la argumentación de Greene de memoria, es posible que esté exagerando las afirmaciones que hizo a favor de la física teórica. Una cosa que

recuerdo claramente es la frase «Hemos acabado», que quería decir que una vez que nosotros, los físicos, hayamos encontrado las ecuaciones fundamentales, la época de la investigación científica básica habrá terminado. Aún estoy oyéndole decir «Hemos acabado» en un tono tajante y triunfal.

Comencé mi respuesta diciendo que nadie niega el éxito deslumbrante de la física teórica en los últimos cuatrocientos años. Nadie niega la verdad de las palabras triunfales de Einstein: «El principio creativo reside en las matemáticas. En un cierto sentido, por tanto, tengo por cierto que el pensamiento puro puede aprehender la realidad, tal y como soñaron los antiguos». Es cierto que las ecuaciones fundamentales de la física son sencillas y hermosas, y que tenemos buenos motivos para esperar que las ecuaciones por descubrir sean aún más sencillas y hermosas. Pero la reducción de otras ciencias a la física no funciona. La química tiene sus propios conceptos, no reducibles a la física. La biología y la neurología tienen sus propios conceptos, no reducibles a la física o la química. El modo de entender una célula viva o un cerebro vivo no es considerarlos como una colección de átomos. La química y la biología y la neurología seguirán avanzando y realizando nuevos descubrimientos fundamentales, independientemente de lo que le suceda a la física. El territorio de las nuevas ciencias, fuera del estrecho dominio de la física teórica, seguirá expandiéndose.

La ciencia teórica puede dividirse a grandes líneas en dos partes: analítica y sintética. La ciencia analítica reduce los fenómenos complejos a sus partes constitutivas más sencillas. La ciencia sintética desarrolla las estructuras complejas a partir de sus partes más sencillas. La ciencia analítica trabaja hacia abajo para encontrar las ecuaciones fundamentales. La ciencia sintética trabaja hacia arriba para encontrar soluciones nuevas e inesperadas. Para entender el espectro de un átomo, se necesitaba la ciencia analítica para que proporcionara la ecuación de Schrödinger. Para entender una molécula de proteína o un cerebro, se necesita ciencia sintética para construir una estructura a partir de átomos o neuronas. Greene decía que sólo la ciencia analítica es merecedora del nombre de ciencia. Para él, la ciencia sintética no es nada más que la solución práctica de problemas. Yo dije, por el contrario, que la buena ciencia requiere un equilibrio entre herramientas analíticas y sintéticas, y que la ciencia sintética pasa a ser cada vez más creativa según va aumentando nuestro conocimiento.

Otra razón por la que creo que la ciencia es inagotable es el teorema de Gödel. El matemático Kurt Gödel descubrió y demostró el teorema en 1931. El teorema dice que dada cualquier serie finita de reglas para hacer matemáticas, existen afirmaciones indecidibles, afirmaciones matemáticas que no pueden demostrarse ni refutarse por medio del uso de estas reglas. Gödel ofreció ejemplos de afirmaciones indecidibles que no puede demostrarse que son verdaderas o falsas utilizando las reglas normales de la lógica y la aritmética. Su teorema implica que la matemática pura es inagotable. No importa cuántos problemas resolvamos, que siempre habrá otros problemas que no puedan resolverse dentro de las reglas existentes. Ahora afirmo que, debido al teorema de Gödel, la física es también inagotable. Las leyes de la física son un conjunto finito de reglas, e incluyen las reglas para hacer matemáticas, de modo que se les aplica el teorema de Gödel. El teorema implica que incluso dentro del ámbito de las ecuaciones básicas de la física, nuestro conocimiento será siempre incompleto.

Concluí diciendo que me alegraba del hecho de que la ciencia sea inagotable, y que

esperaba que los no científicos del público se alegraran también. La ciencia tiene tres fronteras que se desplazan, pero que permanecerán siempre abiertas. Está la frontera matemática, que permanecerá siempre abierta gracias a Gödel. Está la frontera de la complejidad, que permanecerá siempre abierta porque estamos investigando objetos de complejidad cada vez mayor: moléculas, células, animales, cerebros, seres humanos, sociedades. Y está la frontera geográfica, que permanecerá siempre abierta porque nuestro universo inexplorado está expandiéndose en el espacio y el tiempo. Mi esperanza y mi creencia es que nunca llegará el día en que digamos: «Hemos acabado».

Tras la exposición inicial de Greene y mi respuesta, el debate prosiguió en Davos con observaciones adicionales nuestras y con preguntas del público. Su nuevo libro y mi recensión son una continuación ulterior del mismo debate. En la recensión, como en el debate, he resaltado los puntos en que Greene y yo discrepamos. No hay espacio aquí para enumerar los numerosos puntos en que estamos de acuerdo. Para ambos el hecho más importante y apasionante es que durante los últimos veinte años la cosmología ha pasado a ser una ciencia observacional. Durante los últimos cinco años, el satélite con la Sonda de Anisotropía de Microondas Wilkinson (WMAP, por sus siglas en inglés), un radiotelescopio en órbita diseñado por mi amigo David Wilkinson en Princeton, nos ha proporcionado información más detallada y precisa sobre la historia y la estructura del cosmos que todos los telescopios anteriores juntos.

La cosmología observacional ha entrado ahora en su edad de oro, con el satélite WMAP que continúa explorando el cielo, y con una variedad de telescopios incluso más sensibles que están construyéndose en este momento. Durante la siguiente década aprenderemos mucho más del cosmos de lo que sabemos en la actualidad, y encontraremos probablemente nuevos misterios que sustituirán a los que resolvamos. Greene y yo estamos de acuerdo en que mientras los observadores sigan explorando, la cosmología seguirá profundizando nuestra comprensión de dónde estamos y cómo surgimos.

Traducción de Luis Gago

© *The New York Review of Books*

www.nybooks.com