The fabric of the cosmos

BRIAN GREENE

Alfred A. Knopf, Nueva York

El tejido cósmico

Enrique Álvarez

1 diciembre, 2005

Es éste el segundo libro de divulgación del autor, después del tan exitoso *The Elegant Universe*. El autor es un conocido físico teórico, actualmente en la Universidad de Columbia en Nueva York, cuya especialidad es precisamente el estudio de las estructuras matemáticas asociadas a las teorías de cuerdas (sobre las que volveremos). Hay que decir ya desde ahora que el libro no decepciona y mantiene el interés a pesar de que en ocasiones algún lector exigente podría acusarle de verbosidad. Siguiendo una tradición cada vez más extendida (y que se remonta al menos al libro clásico de Weinberg *The First Three Minutes*), en el texto principal no se escriben casi ecuaciones. Éstas se han relegado todas a las notas, que se han agrupado al final del libro, y que son de lectura obligada para todo lector seriamente interesado.

El hilo conductor que ha adoptado el autor es el de la estructura del espacio y del tiempo: el *tejido cósmico* en la metáfora de Greene. Y la verdad es que funciona bastante bien, sobre todo al principio. El autor va comentando el espacio y el tiempo absoluto de la mecánica newtoniana, introduciendo luego el espacio-tiempo de Minkowski, en el que debido al postulado de constancia de la velocidad de la luz, el concepto de simultaneidad ya no es absoluto, sino que está asociado a un sistema de referencia. El espacio y el tiempo en dos referenciales inerciales están íntimamente interrelacionados; de ahí el nombre de espacio-tiempo.

A continuación presenta la dinámica del espacio-tiempo, dada por las ecuaciones de la relatividad general, en virtud de las cuales el contenido material del universo determina la curvatura del espacio-tiempo, considerado como una variedad de cuatro dimensiones (en el mismo sentido que una esfera es una variedad de dos dimensiones). Y también presenta una lúcida discusión de hasta qué punto la relatividad general incorpora o no las ideas de Mach, utilizando el famoso ejemplo del cubo de Newton.

Finalmente, presenta una discusión de las modificaciones que en esta imagen del mundo introduce la mecánica cuántica, tanto a través del principio de incertidumbre (que afirma que es imposible medir simultáneamente variables conjugadas, como por ejemplo la posición de un electrón y su velocidad: cuando más precisamente se determina la una, mayor es la incertidumbre con que se conoce el valor de la otra), como a través de los estados entrelazados (*entangled*), en los que las condiciones iniciales introducen correlaciones que no se anulan incluso aunque el sistema esté compuesto de dos partes muy separadas espacialmente (siempre que el estado global sea coherente desde el punto de vista cuántico). Un ejemplo concreto de este tipo de estados son los llamados EPR, en honor de sus descubridores, a saber, Einstein, Podolski y Rosen.

Por cierto, que Einstein era partidario de la existencia de las llamadas *variables ocultas*, lo cual significa que existen unas variables tales que si conociésemos su valor, determinarían completamente el estado de un objeto cuántico. Toda esta primera parte del libro es magnífica. Incluso intenta, con bastante éxito, explicar las desigualdades de Bell, que relacionan las variables ocultas con cantidades observables. Estas predicciones fueron revolucionarias en el sentido de que hasta entonces se pensaba que toda la discusión sobre variables ocultas (y, en general, sobre todo el problema de la medida en mecánica cuántica) era de poco interés físico, ya que independientemente del punto de vista, la teoría predecía exactamente los mismos valores numéricos para todas las cantidades observables. Esto, como decimos, cambió radicalmente con los trabajos de Bell. Experimentos muy finos desarrollados por Alain Aspect, entre otros, han puesto en evidencia estas desigualdades y, en consecuencia, han excluido las teorías de variables ocultas locales.

A continuación Greene dedica una considerable cantidad de páginas a discutir la flecha del tiempo. Esto es, cómo puede entenderse el segundo principio de la termodinámica, que afirma que la entropía (una medida del desorden) de un sistema aislado siempre tiende a crecer con el tiempo a la luz de las interacciones fundamentales, que son invariantes bajo el cambio de sentido del tiempo. Hay una única excepción a esta regla, y son las interacciones nucleares débiles (que Greene no menciona en este contexto). Otra cuestión debatible es la influencia que tiene en la flecha del tiempo el proceso de medida cuántico. Efectivamente, la función de ondas satisface la ecuación de Schrödinger, que es reversible, *excepto* cuando se produce un proceso de medida usando un aparato

clásico, en cuyo caso el estado se proyecta en un autoestado en el que la variable toma un valor determinado por la medida realizada. En todo caso, Greene toma partido claramente por la llamada *solución cosmológica*, que atribuye el segundo principio a las condiciones iniciales del universo. Este punto de vista, que se debe inicialmente a Tom Gold ¹, uno de los primeros partidarios de la teoría del estado estable de Bondi y Hoyle, es perfectamente aceptable, aunque no está en modo alguno establecido de forma definitiva, de modo que quizás no estaría de más un poquito de escepticismo a este respecto por parte del autor.

Otro apartado excelente del libro es el dedicado al estudio de los efectos cuánticos en el concepto de lo que es el tiempo. El autor lo centra en una discusión de una variante del experimento de la doble rendija, en el que un láser emite fotones (aunque el experimento se ha realizado también con electrones y con otras partículas) que pasan por un divisor de haces (*beam splitter*) que no es más que un espejo semiplataado, reflejándose luego ambos haces en una misma pantalla detectora. Los efectos cuánticos son más espectaculares cuando los fotones se mandan uno a uno. En dos palabras, cuando no se mide por qué camino ha pasado el fotón, entonces hay fenómenos de interferencia, en tanto que si se efectúan medidas que permitan saber por cuál de los dos caminos ha pasado el fotón, entonces se destruyen los fenómenos de interferencia típicamente cuánticos. Una ingeniosa variante del experimento, propuesta por Wheeler en 1980, es la de la elección retardada (*delayed choice*), explicada en la página 186, en la que la detección se produce después de que el fotón haya pasado por el divisor, de forma que parece como si el fotón supiese lo que vamos a hacer antes de que realmente lo hagamos. Todo esto, evidentemente, es difícil de reconciliar con una idea ingenua de la causalidad.

A continuación, y al hilo del problema de la flecha del tiempo, el autor se dedica a reflexionar sobre la cosmología. Es, sin duda, ésta una de las partes de la física en que las observaciones están modificando la imagen global del universo, con la característica de que aquéllas son cada vez más fiables. El autor explica los trazos básicos del universo en expansión, y elabora con detalle el paradigma de la *inflación* presentándola como una deconstrucción del *bang* (la gran explosión). También menciona, aunque de pasada, el problema de la constante cosmológica. En mi opinión, sin embargo, esta es la parte más floja del libro. Las ideas básicas no están suficientemente elaboradas, y es una pena. He de decir, en descargo del autor, que esta sección finaliza con unos acertados comentarios donde se pone en su justa perspectiva la evidencia en favor de las teorías más especulativas.

Finalmente, y como no podía ser menos, el autor repite partes ya expuestas en su primer libro sobre la teoría de (super)cuerdas como candidatas a teorías unificadas de todas las interacciones fundamentales, incluyendo la gravitación, y las dimensiones extra ya que, para que las matemáticas de las cuerdas sean consistentes, es necesario que el espacio-tiempo tenga seis dimensiones adicionales, que se suponen compactas de muy pequeño tamaño. Recientemente se ha descubierto que también objetos de dimensión más alta desempeñan un papel en la teoría. Estos objetos son la membrana (dimensión dos), las tres-brana, etc. El autor incluso menciona la posibilidad (en mi modesta opinión, remota) de una cosmología cíclica basada en las membranas de tres dimensiones.

Ya al final, dedica unas palabras especulativas a la posibilidad (aunque sea en principio) de

materialización a distancia (*teleportation*), así como de las máquinas del tiempo, en las que es posible viajar al pasado. Discute, en particular, los análisis de Thorne y colaboradores, que han sido utilizados por Carl Sagan en su famosa novela *Contact*. Incluso menciona la posibilidad de que los grados de libertad fundamentales en la gravedad cuántica sean proporcionales a la superficie de la frontera del volumen en que se trabaje, y no al volumen mismo; esta posibilidad ha sido sugerida por el físico europeo Gerardus 't Hooft y suele resumirse diciendo que la gravitación es una teoría holográfica. Al fin y al cabo, en holografía, consigue reproducirse una imagen tridimensional a partir de la información contenida en una superficie plana.

El libro está escrito de manera competente, con mano segura. No he encontrado erratas significativas en la edición americana. Naturalmente, la adecuación de las metáforas es algo muy subjetivo, pero sin duda hay algunas muy conseguidas. Por mor de la profesionalidad, he aquí una pequeña precisión: aunque es cierto que el lugar de nacimiento de Theodor Kaluza (el primer físico que especuló con la existencia de dimensiones adicionales) se llamaba Ratibor y pertenecía a Alemania el 9 de noviembre de 1885, que es el día preciso de su nacimiento, no es menos cierto que después de la reestructuración que sufrió la zona al término de la Segunda Guerra Mundial, la misma ciudad se conoce hoy con el nombre de Raciborz y pertenece a Polonia.

No puedo resistirme a la tentación de reproducir el sugerente final del libro: «No habría nada más poético, ni resultado más grácil, ni unificación más completa, que si pudiéramos verificar nuestras teorías de lo muy pequeño –nuestras teorías acerca de la estructura ultramicroscópica del espacio, del tiempo y de la materia– observando silenciosamente las estrellas con nuestros más potentes telescopios». Amén.

¹. Cosa, incidentalmente, que Greene no menciona.