

De la silla de montar a la cáscara de nuez

Posted on 1 de febrero de 2003 by César Gómez

El universo en una cáscara de nuez es el sugestivo título del último libro de Stephen Hawking, conocido por el gran público por su anterior ensayo *La historia del tiempo*, que constituyó en su momento un verdadero *best-seller* a escala mundial. Stephen Hawking, que ocupa en la actualidad la cátedra lucasiana de física en la Universidad de Cambridge –la misma que ocuparon con anterioridad físicos de la talla de Isaac Newton o Paul Dirac–, es, sin lugar a ninguna duda, uno de los grandes líderes de la física teórica actual. Entre sus principales contribuciones hay dos de particular importancia. La primera es la demostración, junto con el físico matemático de Oxford Roger Penrose, de la existencia de una singularidad inicial del espacio y el tiempo, popularmente conocida como Big Bang. La segunda es la demostración de la existencia de radiación de los agujeros negros. A lo largo de la primera parte de este libro, Hawking explica, una vez más, ambos resultados, apoyándose, esta vez, en una batería de magníficas ilustraciones. Sin embargo, aunque este nuevo libro de Hawking pueda tender a leerse como un libro más de divulgación, en el que se ha hecho un importante esfuerzo por aproximarse al gran público utilizando más y mejores figuras, el libro presenta otra lectura muy distinta, la lectura de un verdadero ensayo científico, por otra parte muy original, en el que Hawking intenta encontrar un marco desde el que entender una serie de ideas nuevas en física, que van desde la cosmología inflacionaria, la resolución cuántica de la singularidad inicial o el principio holográfico, hasta la dinámica de membranas en las teorías de supercuerdas. El título del libro constituye una excelente metáfora para referirse a este enjambre complicado de problemas. En esta reseña me limitaré, por tanto, a intentar dar una idea, aunque ésta sea necesariamente muy incompleta, del significado del título del nuevo libro de Stephen Hawking.

En un mundo que fuera como una nuez nosotros viviríamos en la cáscara o, dicho de otra manera, en la frontera de la nuez. Lo que esto quiere decir es que estamos pensando en una nuez un poco especial cuya cáscara fuera como nuestro universo, es decir, que tuviera cuatro dimensiones, largo, ancho, alto y tiempo, y que existiera una dimensión adicional con la que describiríamos el interior de la nuez. Preguntémonos si el interior de la nuez está vacío o lleno. La respuesta es que en el interior de la nuez sí hay algo y este algo es la gravitación. En el caso de que esto no fuera así y que todas las partículas que conocemos, por ejemplo los electrones, pudieran danzar libremente por el interior de la nuez nos encontraríamos inmediatamente con problemas. En particular, si los electrones pudieran moverse en un espacio de cinco dimensiones, la ley de interacción entre los mismos cambiaría y como

consecuencia de ello los átomos no podrían ser estables, lo que comportaría, entre otras cosas, la imposibilidad de vida inteligente. De esta manera, es importante que el modelo del universo como una cáscara de nuez, al menos si deseamos un universo mínimamente parecido al nuestro, nos explique por qué tanto los constituyentes de la materia como sus interacciones fundamentales quedan confinadas en la cáscara, incapaces de transitar hacia el interior de la nuez. La respuesta a esta pregunta es la que lleva a Hawking a introducir en su libro las membranas. La cáscara de la nuez es como una membrana que atrapa sobre su superficie a electrones, quarks, fotones y neutrinos. En suma, a todos los constituyentes de la materia. Es posible en física dar una explicación de este fenómeno de confinamiento en la membrana, pero exige parte de la artillería más pesada de la teoría de cuerdas y está, por tanto, obviamente fuera de lugar dentro del marco permitido por una reseña. Sirva lo anterior, sin embargo, para que el lector comprenda el sentido de uno de los cabos más difíciles de atrapar de la zoología de conceptos que Hawking introduce en su libro: me refiero al concepto de *P-brana*, donde *P* denota la dimensión espacial de la misma, que en el caso de la superficie de nuestra nuez cósmica, es $P = 3$. Ahora bien, hay algo, como ya anunciábamos hace un momento, que sí permitimos que se adentre en el interior de la nuez y este algo es la interacción gravitatoria. La razón por la que podemos hacer esto es porque la interacción gravitatoria es muy débil si la comparamos con el resto de las interacciones que están involucradas en la formación de la materia tal y como la observamos. En cualquier caso, si la gravitación existiera en más de cuatro dimensiones ello supondría cambios en la ley de gravitación de Newton, cuya corrección conocemos experimentalmente hasta distancias submilimétricas. Una manera de salir de este atolladero consiste en curvar el espacio-tiempo en el interior de la nuez, de tal forma, que las ondas gravitacionales, en general las perturbaciones gravitatorias, queden fuertemente localizadas sobre la cáscara de la nuez. Existe un tipo de espacio-tiempo en el que esto ocurre. Es un espacio-tiempo que el lector encontrará magníficamente ilustrado en el libro de Hawking como una silla de montar a caballo, donde deberá ahora imaginar los bordes de la silla de montar como si se tratara de la cáscara de la nuez. Antes de entrar a discutir la conexión entre la silla de montar y la nuez es importante introducir otro concepto al que Hawking dedica algunas palabras tanto en el capítulo cuarto como en el capítulo séptimo de su libro: el conocido como *principio holográfico*. Una primera idea sobre el sentido de dicho principio la puede encontrar el lector en el capítulo dedicado a la física de los agujeros negros. La información contenida en el interior del agujero negro está completamente codificada en la superficie del mismo. Por este procedimiento, como en el caso de los hologramas, logramos representar en una pantalla plana objetos con volumen. Cuando extendemos esta idea al universo como una nuez, la pantalla se convierte en la cáscara, es decir, en nuestro universo, y el principio holográfico lo que nos dice es que en esta cáscara queda codificada toda la información sobre lo que ocurra en el interior de la nuez. Dicho esto, es tiempo de volver a la nuez y la silla de montar, ya que

la conexión entre ambos espacios-tiempos nos va a llevar al corazón de las ideas de Hawking sobre el significado físico de la gravitación.

Como ya comentábamos, uno de los resultados más importantes de Hawking es su demostración, junto con Roger Penrose, de la existencia de una singularidad inicial o Big Bang. Esta demostración es puramente clásica, lo que significa que no involucra ningún efecto cuántico, y se basa, en el fondo, en el hecho de que la gravitación hace que los rayos de luz converjan. Muchos son los físicos que han sospechado que este resultado podría modificarse de una manera radical una vez se tuvieran en cuenta efectos cuánticos, que de seguro son relevantes cuando de lo que se trata es de describir un universo que se ha contraído hasta un tamaño infinitamente pequeño. Sin embargo, no contamos aún con una teoría consistente de la gravitación cuántica y el problema sobre la singularidad inicial debe quedar por el momento obligatoriamente en suspenso. Si extendemos la mecánica cuántica al universo como un todo, deberemos considerar todos los posibles universos y definir para cada uno de ellos su amplitud de probabilidad. Por el momento contamos con poco más que el principio antrópico para fijar esta amplitud, que deberá hacer al menos posibles los universos en los que se den las condiciones para la existencia de vida inteligente. En cualquier caso, el tema al que quiero referirme no es al principio antrópico, sino a lo que se conoce como *gravedad euclídea*. Este sofisticado concepto constituye la clave de la trama del libro.

Gracias a la relatividad restringida de Einstein –teoría magníficamente explicada en el primer capítulo del libro– aprendimos a pensar en un espacio tiempo de cuatro dimensiones donde el tiempo aparece como una dimensión más. Sin embargo, dentro de la relatividad restringida, la geometría del espacio tiempo nos permite distinguir entre el tiempo y las otras dimensiones. El espacio tiempo presenta una geometría minkowskiana, especialmente diseñada para a partir de un punto, es decir un observador, dividir el resto del universo en aquellas zonas que están en su pasado causal, en aquellas que están dentro del futuro sobre el que el observador puede actuar y aquellas otras desconectadas causalmente del observador. El lector seguramente no estará acostumbrado a este tipo de geometría que define como nula la distancia entre cualesquiera dos eventos que estén conectados por un rayo de luz; más bien estará acostumbrado a la geometría euclídea, que es la que practicamos en nuestra vida cotidiana. Lo que seguramente le resultará más sorprendente al lector es que para pasar de la más familiar geometría euclídea a la geometría minkowskiana lo único que hay que hacer es convertir el tiempo en un número imaginario. Si aceptamos esta modalidad abstracta de tiempo, podemos transformar un espacio tiempo dado en una superficie distinta que sería la misma superficie pero vista ahora desde el punto de vista del tiempo imaginario. Lo anterior, que no es sino un artificio matemático, puede tener, y así lo

piensa desde hace algunos años Hawking, consecuencias importantes. Una consecuencia inmediata es que nos permite cambiar nuestro punto de vista sobre la naturaleza de la singularidad inicial o Big Bang, una singularidad que, de existir, hace que el universo quede determinado por una serie de condiciones iniciales de las que seguramente nunca podremos conocer nada y que en el mejor de los casos nos coloca ante un punto o momento inicial que marca la frontera de la física y la puerta del ámbito de la libertad de los dioses.

¿Cómo podemos cambiar este punto de vista utilizando el tiempo imaginario? El más simple de los universos euclídeos, y con ello ya nos acercamos a la famosa cáscara de nuez, es simplemente una esfera que, al igual que la cáscara de nuez, debemos pensar como una superficie con cuatro dimensiones. Si nos olvidamos de dos de ellas, podemos pensar el tiempo como simplemente la latitud. El polo sur sería el comienzo y el polo norte el final del tiempo. Pero contemplen una esfera, por ejemplo una pelota: seguramente nada les haría pensar en forma alguna de singularidad, ni en el polo norte ni en el polo sur. Ambos son puntos totalmente regulares donde nada especial ocurre, la fascinación filosófica del Big Bang desaparece súbitamente sin más que cambiar la naturaleza matemática del tiempo. Adentrarnos en este tópico sería una cuestión ardua y nada trivial. Parte de la grandeza del libro de Hawking radica en la enorme facilidad con la que el autor lidia con estas cuestiones y cómo dirige al lector por este campo de minas como si se tratara de un plácido paseo por el parque.

Me voy a permitir introducir aquí un comentario y una metáfora con la intención de aportar una imagen algo más intuitiva de la gravedad euclídea. Un fenómeno que seguramente resultará al lector un poco más familiar es el del efecto túnel en mecánica cuántica. Objetos macroscópicos como nosotros no somos en general capaces de traspasar los muros aunque la mecánica cuántica nos asegure que tal hazaña es posible. La razón es porque la probabilidad de que tal cosa ocurra es, para objetos de nuestro tamaño, enormemente pequeña. Sin embargo, éste no es el caso para partículas elementales, y al correspondiente fenómeno de traspasar una barrera se le conoce, en física cuántica, como efecto túnel. Lo que nos interesa resaltar de este efecto en este momento es que mientras la partícula traspasa la barrera es como si para ella el tiempo se hubiera vuelto euclídeo. Este comentario nos puede permitir entender la filosofía que subyace a la teoría de la gravedad euclídea. Desde siempre los metafísicos se han preguntado por qué existe algo en vez de la nada, y la respuesta que nos proporciona la gravedad euclídea a esta sorprendente pregunta es porque existe un efecto túnel que, en cierto modo, nos permite imaginar la creación del universo a partir de la nada o dicho de manera algo más precisa, un universo carente de condiciones iniciales, lo que desde luego, tiene implicaciones filosóficas importantes que dejaremos que el lector desvele por sí mismo.

Dicho lo anterior sobre la gravedad euclídea, podemos ya volver a la cáscara de nuez. Para ello, como decíamos antes, pensemos en el más simple de los espaciotiempos euclídeos: una esfera. Para ver lo que esta esfera describe debemos intentar visualizarla en tiempo real y no en el ficticio tiempo imaginario que hemos utilizado para definir su geometría. Cuando hacemos esto, lo que observamos es un universo que se expande de una manera muy acelerada: a esta expansión se le llama en física *inflación*. Esta inflación es importante cosmológicamente y permite resolver algunos de los problemas típicos de la cosmología; en particular, nos permite explicar cómo las diferencias en el momento inicial se han ido uniformizando. Sin embargo, es indeseable un universo en el que esta expansión se produzca de manera continuada y cada vez más dramática, que es precisamente lo que obtendríamos si continuáramos manteniendo nuestro modelo de un universo euclídeo como una esfera. Para resolverlo, necesitamos achatarlo un poco por un polo, pero no sólo eso: también necesitamos, para dar fe de la distribución de materia en el universo, hacer nuestra esfera un poco rugosa. Ya estamos enfrente de la cáscara de nuez.

Pero ¿qué tiene que ver esta esfera rugosa que es tan solo una superficie de cuatro dimensiones, de la que no tiene sentido preguntarse si contiene o no algo en su interior, con la cáscara de nuez, que tiene la nuez dentro? La respuesta a esta pregunta, como cualquiera de las otras de las que trata este libro, no es sencilla. Necesitamos volver a la silla de montar a caballo. Esta silla, si la viéramos con los ojos del tiempo imaginario, se volvería algo parecido a la nuez, cuya superficie o cáscara sería el universo en el que vivimos. Con esto concluimos nuestra breve descripción del significado del título del fascinante libro de Hawking.

Hawking logra con este libro presentar cuestiones arduas y altamente especulativas de una manera aparentemente simple y definitivamente atractiva. Pero, como he anticipado antes, el libro es otra cosa: es un magnífico ensayo con el que Hawking intenta enmarcar dentro de su visión de la gravitación cuántica algunos de los desarrollos más recientes de la física teórica, en particular de la teoría de supercuerdas.

Las ideas que Hawking desarrolla en este libro hacen referencia a sus temas de investigación más actuales, a sus últimos trabajos. No sólo a los resultados de los mismos, sino también a los aspectos más conjeturales y especulativos. En este sentido, este es un libro en el que se combinan, por una parte, la divulgación de teorías bien establecidas como la relatividad y la física de los agujeros negros, con ideas no universalmente aceptadas como la gravedad euclídea y con especulaciones que, aun siendo fascinantes, están todavía muy lejos de constituir teoría alguna. Para el lector no profesional será difícil deslindar los diferentes elementos que entran a formar parte de este libro y esto es posible que genere confusiones y malentendidos, máxime teniendo en cuenta que el libro ha pasado ya, por ejemplo en

España, a las listas de los libros más vendidos. En suma, Hawking, con el pretexto de aproximarse al gran público, aprovecha las licencias retóricas de la divulgación científica para ensamblar el rompecabezas actual de la gravedad cuántica y generar un atractivo escenario desde el que vislumbrar una posible solución del «puzzle». Hawking ha escrito un ensayo disfrazado de libro de divulgación.

La edición española de este libro es magnífica, y tan solo cabe mencionar, a título de detalle sin mayor importancia, que la forma ordinaria de referirse a las teorías de cuerdas E_8 y $SO(32)$ es en femenino, como cuerdas heteróticas y no como heteróticos. Por último, un consejo: aunque esta reseña le haya hecho momentáneamente pensar que el libro es difícil, no por ello deje de leerlo o al menos de intentarlo: seguro que encontrará provecho en ello.

Autor: STEPHEN HAWKING

Edición: Crítica, Barcelona, 224 págs.

Título: El universo en una cáscara de nuez