

MONOGRAFÍA DE COSMOLOGÍA

MONOGRAPH ON COSMOLOGY

Autobiografía y preguntas sobre cosmología

Autobiography and questions about cosmology

DEMANDADO 1-9-2025 REVISADO 8-9-2025 ACEPTADO 22-9-2025

Stephen Hawking

Gran Bretaña

Palabras claves: Autobiografía, origen de la vida, cosmología, universo

Key words: Autobiography origin of life, cosmology, universe

Resumen La gente siempre ha querido respuestas a las grandes preguntas. ¿De dónde venimos? ¿Cómo comenzó el universo? ¿Qué sentido y qué intencionalidad hay tras todo eso? ¿Hay alguien ahí afuera? Las antiguas narraciones sobre la creación nos parecen ahora menos relevantes y creíbles. Han sido reemplazadas por una variedad de lo que solo se puede considerar supersticiones, que van desde la *New age* hasta *Star trek*. Pero la ciencia real puede ser mucho más extraña, y mucho más satisfactoria, que la ciencia ficción.

Soy un científico. Y un científico con una profunda fascinación por la física, la cosmología, el universo y el futuro de la humanidad. Mis padres me educaron para tener una curiosidad inquebrantable y, al igual que mi padre, para investigar y tratar de responder a las muchas preguntas que la ciencia nos plantea. He pasado la vida viajando por el universo, en el interior de mi mente. Mediante la física teórica, he tratado de responder algunas de las grandes preguntas.

Abstract People have always wanted answers to the big questions. Where do we come from? How did the universe begin? What meaning and purpose is behind it all? Is there anyone out there? Ancient creation stories now seem less relevant and credible to us. They have been replaced by a variety of what can only be considered superstitions, ranging from New Age to Star Trek. But real science can be much stranger, and much more satisfying, than science fiction.

I am a scientist. And a scientist with a deep fascination for physics, cosmology, the universe, and the future of humanity. My parents

raised me to have an unquenchable curiosity and, like my father, to investigate and try to answer the many questions that science poses. I have spent my life traveling through the universe, inside my mind. Through theoretical physics, I have tried to answer some of the big questions.

1Autobiografía y preguntas sobre cosmología

1.1 Por qué debemos hacernos importantes preguntas

La gente siempre ha querido respuestas a las grandes preguntas. ¿De dónde venimos? ¿Cómo comenzó el universo? ¿Qué sentido y qué intencionalidad hay tras todo eso? ¿Hay alguien ahí afuera? Las antiguas narraciones sobre la creación nos parecen ahora menos relevantes y creíbles. Han sido reemplazadas por una variedad de lo que solo se puede considerar supersticiones, que van desde la *New age* hasta *Star trek*. Pero la ciencia real puede ser mucho más extraña, y mucho más satisfactoria, que la ciencia ficción.

Soy un científico. Y un científico con una profunda fascinación por la física, la cosmología, el universo y el futuro de la humanidad. Mis padres me educaron para tener una curiosidad inquebrantable y, al igual que mi padre, para investigar y tratar de responder a las muchas preguntas que la ciencia nos plantea. He pasado la vida viajando por el universo, en el interior de mi mente. Mediante la física teórica, he tratado de responder algunas de las grandes preguntas. En un cierto momento, creí que vería el final de la física, tal como la conocemos, pero ahora creo que la maravilla de descubrir continuará mucho después de que me haya ido. Estamos cerca de algunas de esas respuestas, pero todavía no las tenemos. El problema es que la mayoría de la gente cree que la ciencia real es demasiado difícil y complicada para que la puedan entender. No creo sin embargo que este sea el caso. Investigar sobre las leyes fundamentales que rigen el universo requeriría una dedicación de tiempo que la mayoría de la gente no tiene; el mundo pronto se detendría si todos intentáramos hacer física teórica. Pero la mayoría de personas pueden comprender y apreciar las ideas básicas, si son presentadas de forma clara sin ecuaciones, cosa que creo que es posible y que he disfrutado tratando de hacer a lo largo de mi vida. Ha sido una época gloriosa para vivir e investigar en física teórica. Nuestra imagen del universo ha cambiado mucho en los últimos cincuenta años, y me siento feliz si he contribuido en algo a ello. Una de las grandes revelaciones de la era espacial ha sido la perspectiva que nos ha proporcionado sobre la

humanidad. Cuando contemplamos la Tierra desde el espacio, nos vemos a nosotros mismos como un todo. Vemos nuestra unidad y no nuestras divisiones. Es una imagen simple con un mensaje cautivador: un solo planeta, una sola especie humana.

Quiero sumar mi voz a la de aquellos que reclaman una acción inmediata sobre los desafíos clave de nuestra comunidad global. Espero que en el futuro, incluso cuando yo ya no esté, las personas con poder puedan mostrar creatividad, coraje y liderazgo. Dejémosles ponerse al nivel del desafío de los objetivos de desarrollo sostenible, y actuar no por su propio interés sino por el interés común. Soy muy consciente de cuán precioso es el valor del tiempo. Aprovechemos cada momento. Actuemos ahora mismo.

1.2 Autobiografía

Ya he escrito anteriormente sobre mi vida pero cuando pienso en mi fascinación de siempre por las grandes preguntas creo que vale la pena repetir algunas de mis experiencias tempranas.

Nací exactamente trescientos años después de la muerte de Galileo, y me gustaría creer que esa coincidencia ha influido en cómo ha sido mi vida científica. Sin embargo, estimo que otros doscientos mil bebés nacieron aquel mismo día. No sé si alguno de ellos se interesó posteriormente por la astronomía.

Crecí en una casa victoriana alta y estrecha en Highgate, en Londres, que mis padres compraron a bajo precio durante la segunda guerra mundial, cuando todos pensaban que Londres iba a quedar arrasada por los bombardeos. De hecho, un cohete V2 fue a caer a una casa poco más allá de la nuestra. En ese momento yo estaba lejos, con mi madre y mi hermana, y afortunadamente mi padre no resultó herido. Durante años, en el sitio de la bomba quedó un gran espacio vacío, en el que solía jugar con mi amigo Howard. Investigamos los resultados de la explosión con la misma curiosidad que ha impulsado mi vida entera.

En 1950, el lugar de trabajo de mi padre se trasladó al extremo norte de Londres, al nuevo Instituto Nacional de Investigación Médica recién construido en Mill Hill, por lo que mi familia se mudó a sus cercanías, a la ciudad catedralicia de Saint Albans. Me enviaron a la escuela secundaria para niñas, que a pesar de su nombre admitía niños de hasta diez años de edad. Más tarde fui a la escuela de Saint

Albans. Nunca llegué más allá de la mitad de la clase —era una clase muy brillante— pero mis compañeros me pusieron el apodo de Einstein, así que presumiblemente vieron en mí signos de algo mejor. Cuando tenía doce años uno de mis amigos le apostó a otro una bolsa de caramelos a que nunca llegaría a nada.

En Saint Albans tenía seis o siete amigos íntimos, y recuerdo haber mantenido con ellos largas discusiones y debates, sobre todo, desde modelos controlados por radio hasta la religión. Uno de nuestros grandes temas de discusión era el origen del universo, y si hace falta un Dios para crearlo y ponerlo en marcha. Había oído que la luz de las galaxias distantes se desplazaba hacia el extremo rojo del espectro y se suponía que esto indicaba que el universo se estaba expandiendo. Pero estaba seguro de que debía haber alguna otra explicación para ese desplazamiento hacia el rojo. ¿Tal vez la luz se cansaba y enrojecía en su camino hacia nosotros? Un universo esencialmente inmutable y eterno me parecía mucho más natural.

(Fue solo años más tarde, tras el descubrimiento de la radiación cósmica de fondo de microondas, transcurridos ya dos años de mi investigación de doctorado, que reconocí que me había equivocado). Siempre me interesó mucho el funcionamiento de las cosas, y solía desmontarlas para ver cómo funcionaban, pero no era tan bueno para volver a armarlas. Mis habilidades prácticas nunca igualaron mis cualidades teóricas. Mi padre alentó mi interés por la ciencia e insistía en que yo fuera a Oxford o Cambridge. Él mismo había ido al University College de Oxford, así que pensó que debería presentarme allí. En aquel momento, el University College no tenía ningún cate-drático de matemáticas, así que no me quedaba otra opción que pedir una beca en ciencias naturales. Me sorprendió conseguirla.

La actitud predominante en Oxford en aquel momento era muy anti trabajo. Se suponía que debías ser brillante sin esfuerzo, o aceptar tus limitaciones y resignarte a una nota mínima. Yo lo tomé como una invitación a trabajar muy poco. No me siento orgulloso de ello, solo estoy describiendo mi actitud en aquel tiempo, compartida por la mayoría de mis compañeros. Uno de los resultados de mi enfermedad fue cambiar todo aquello. Cuando te enfrentas a la posibilidad de una muerte temprana, te das cuenta de que hay muchas cosas que quieres hacer antes de que tu vida termine. Como había trabajado tan poco, planeé pasar el examen final evitando las preguntas que requiriesen algún conocimiento de los hechos, centrándome, en cambio, en problemas de física teórica.

Pero la noche anterior no dormí y el examen no me fue muy bien. Estaba en la frontera entre un sobresaliente y un notable, y tuve que ser entrevistado por los examinadores para determinar qué nota me asignaban. En la entrevista me preguntaron por mis planes futuros. Respondí que quería hacer investigación. Si me concedían un sobresaliente, iría a Cambridge. Si solo me daban un notable, me quedaría en Oxford. Me dieron un sobresaliente.

En las largas vacaciones posteriores a mi examen final, la universidad ofreció una serie de pequeñas becas de viaje. Pensé que mis posibilidades de obtener una serían mayores cuanto más lejos me propusiera ir, y dije que quería ir a Irán. Partí en el verano de 1962, en tren hasta Estambul, luego a Erzurum en el este de Turquía, luego a Tabriz, Teheran, Isfahán, Shiraz y Persépolis, la capital de los antiguos reyes persas. De regreso a casa, yo y mi compañero de viaje, Richard Chiin, quedamos atrapados en el gran terremoto de Bouin-Zahra, de 7,1 grados en la escala Richter, que mató a más de doce mil personas. Debí haber estado cerca del epicentro, pero no lo sabía porque estaba enfermo y en un autobús que iba dando tumbos por las carreteras iraníes, que entonces tenían muchos baches.

Pasamos los siguientes días en Tabriz, mientras me recuperaba de una grave disentería y de una costilla que me rompí al ser arrojado contra el asiento de enfrente en el autobús, desconociendo todavía la magnitud del desastre, porque no hablábamos farsi. Hasta que llegamos a Estambul no supimos qué había pasado. Envié una postal a mis padres, que habían estado esperando ansiosamente diez días, porque la última vez que nos comunicamos yo estaba saliendo de Teheran hacia la región del desastre en el día del terremoto. A pesar del seísmo, tengo muy buenos recuerdos de mis días en Irán. Una curiosidad intensa por el mundo puede ponernos en peligro, pero para mí esta fue probablemente la única vez en mi vida que esto ha sido cierto.

En octubre de 1962, cuando llegué a Cambridge, al Departamento de Matemáticas y Física Teórica, tenía veinte años. Había solicitado trabajar con Fred Hoyle, el astrónomo británico más famoso de la época. Digo astrónomo, porque entonces la cosmología apenas era reconocida como un campo legítimo de investigación. Sin embargo, Hoyle ya tenía suficientes estudiantes, así que con gran decepción mía fui asignado a Dennis Sciama, de quien no había oído hablar. Pero de hecho fue bueno no haber sido estudiante de Hoyle, porque

me habría arrastrado a tener que defender su teoría del estado estacionario, cosa que hubiera resultado más difícil que negociar el Brexit. Comencé mi trabajo leyendo viejos libros de texto sobre relatividad general, atraído como siempre por las preguntas más importantes.

Como algunos de ustedes pueden haber visto en la película en la que Eddie Redmayne interpreta una versión particularmente favorecedora de mí, en mi tercer año en Oxford noté que parecía ir volviéndome más torpe. Me caí una o dos veces sin poder entender por qué, y noté que ya no podía remar apropiadamente. Se hizo evidente que algo no iba del todo bien, y no me gustó nada que un médico me dijera que dejara la cerveza.

El invierno después de llegar a Cambridge fue muy frío. Estaba en casa por las vacaciones de Navidad, cuando mi madre me convenció de ir a patinar al lago de Saint Albans, aunque yo sabía que no estaba preparado para eso. Me caí y tuve grandes dificultades para reincorporarme. Mi madre se dio cuenta de que algo iba mal y me llevó al médico.

Pasé semanas en el hospital de St Bartholomew, donde me hicieron muchas pruebas. Era 1962, y las pruebas fueron algo más primitivas de lo que son ahora. Me tomaron una muestra de músculo del brazo, me clavarón electrodos y me inyectaron en la columna vertebral un fluido opaco a las radiaciones que los doctores observaron con rayos X cómo subía y bajaba al inclinar la cama. En realidad, nunca me dijeron qué era lo que fallaba, pero adiviné lo suficiente como para concluir que era algo bastante grave, así que no lo quería preguntar. Deduje de las conversaciones de los doctores que, fuera lo que fuera “eso”, solo empeoraría y no había nada que pudieran hacer, excepto darme vitaminas. De hecho, el doctor que realizó las pruebas se desentendió de mí y nunca lo volví a ver. Se dio cuenta de que no había nada que pudiera hacer por mí.

En algún momento, debí enterarme de que el diagnóstico era esclerosis lateral amiotrófica (ELA), un tipo de enfermedad motora neuronal en que las células nerviosas del cerebro y de la médula espinal se atrofian y luego se cicatrizan o se endurecen. También me enteré de que las personas con esta enfermedad pierden gradualmente la capacidad de controlar sus movimientos, de hablar, de comer y finalmente de respirar.

Mi enfermedad parecía progresar rápidamente. Como es comprensible, me deprimí, ya que no veía qué sentido tenía continuar

investigando en mi doctorado si ni tan solo sabía si llegaría a vivir lo suficiente para terminarlo. Pero la progresión se ralentizó y sentí un renovado entusiasmo por mi trabajo. Después de que mis expectativas se hubieran reducido a cero, cada nuevo día se convirtió en una propina y empecé a apreciar todo lo que tenía. Mientras hay vida, hay esperanza.

Y, por supuesto, también había una chica llamada Jane, a quien había conocido en una fiesta. Estaba muy decidida a que juntos pudiéramos luchar contra mi condición. Su confianza me esperanzó. Comprometerme con ella levantó mi ánimo y me di cuenta de que si nos casábamos debería conseguir un trabajo y terminar mi doctorado. Y como siempre, las grandes preguntas me estaban impulsando. Comencé a trabajar duro y lo disfruté.

Para mantenerme durante mis estudios, solicité una beca de investigación en el College Gonville y Caius. Para mi gran sorpresa, fui elegido y he sido miembro de honor del Caius desde entonces. Ser nombrado miembro honorario fue un punto de inflexión en mi vida. Significaba que podía continuar mi investigación a pesar de mi creciente discapacidad. También significaba que Jane y yo podríamos casarnos, lo cual hicimos en julio de 1965. Nuestro primer hijo, Robert, nació dos años después de que nos casáramos. Nuestra segunda hija, Lucy, nació unos tres años después. Nuestro tercer hijo, Timothy, nacería en 1979.

Como padre, traté de inculcar la importancia de hacer siempre preguntas. Una vez, en una entrevista, mi hijo Tim contó que en un cierto momento le preocupó que una pregunta que se planteaba fuera un poco tonta. Quería saber si había muchos otros universos diminutos esparcidos. Yo le dije que nunca tuviera miedo de proponer una idea o una hipótesis, por muy tonta (son sus palabras, no las mías) que pudiera parecer.

1.3 Pregunta cosmológica

La gran pregunta en cosmología a principios de la década de 1960 era si el universo tuvo un comienzo. Muchos científicos se oponían instintivamente a esa idea, porque creían que un punto de creación sería un lugar donde la ciencia dejaría de valer. Uno debería apelar a la religión y a la mano de Dios para determinar cómo comenzó el universo. Esto era claramente una pregunta fundamental, y era justo lo que yo necesitaba para completar mi tesis de doctorado.

Roger Penrose había demostrado que una vez que una estrella moribunda se ha contraído a un cierto radio, evolucionará inevitablemente hasta una singularidad, un punto donde el espacio y el tiempo llegarían a su fin. Por lo tanto, pensé, ya sabíamos con seguridad que nada podría evitar que una estrella fría masiva se colapsara bajo su propia gravedad hasta alcanzar una singularidad de densidad infinita. Me di cuenta de que argumentos similares podrían aplicarse a la expansión del universo. En este caso, pude demostrar que había singularidades donde comenzó el espacio tiempo.

Un momento eureka llegó en 1970, unos días después del nacimiento de mi hija Lucy. Mientras me metía en la cama un anochecer, cosa que mi discapacidad convertía en un proceso muy lento, me di cuenta de que podría aplicar a los agujeros negros la teoría de la estructura causal que había desarrollado para los teoremas de singularidad. Si la relatividad general es correcta y si la densidad de energía es positiva, el área de la superficie del horizonte de sucesos —el borde de un agujero negro— tiene la propiedad de que siempre aumenta cuando materia o radiación adicionales caen en él. Además, si dos agujeros negros chocan y se fusionan en un único agujero negro, el área del horizonte de sucesos del agujero negro resultante debe ser mayor que la suma de las áreas de los horizontes de sucesos de los agujeros negros originales.

Fue una Edad de Oro, en la que resolvimos la mayoría de los principales problemas en la teoría de los agujeros negros incluso antes de que hubiera evidencia observacional alguna de ellos. De hecho, teníamos tanto éxito con la teoría general clásica de la relatividad que, en 1973, después de la publicación con George Ellis de nuestro libro *La estructura del espacio-tiempo a gran escala*, me sentí sin saber qué hacer. Mi trabajo con Penrose había demostrado que la relatividad general dejaba de ser válida en singularidades; así pues, el siguiente paso obvio sería combinar la relatividad general —la teoría de lo muy grande— con la teoría cuántica —la teoría de lo muy pequeño—. En particular, me preguntaba si podría haber átomos cuyo núcleo fuera un pequeño agujero negro primordial, formado en el universo temprano. Mis investigaciones revelaron una relación profunda e insospechada hasta entonces entre la gravedad y la termodinámica, la ciencia del calor, y resolvieron una paradoja que había sido debatida infructuosamente durante treinta años: la radiación remanente de un agujero negro que se contrae, ¿cómo se podría llevar toda la información sobre el agujero negro? Descubrí que la

información no se pierde, pero no se recupera de manera útil: es como quemar una enciclopedia, pero reteniendo el humo y las cenizas.

Para responder esa pregunta, estudié cómo los campos cuánticos o las partículas serían dispersados al chocar con un agujero negro. Esperaba que una parte de la onda incidente sería absorbida y la parte restante dispersada. Pero con gran sorpresa hallé que parecía que también el propio agujero negro emitía. Al principio, creí que eso era un error de mis cálculos. Sin embargo, lo que me persuadió de que era real fue que dicha emisión era exactamente la que se necesitaba para identificar el área del horizonte de sucesos del agujero negro con su entropía. Dicha entropía, una medida del desorden de un sistema, se resume en la siguiente fórmula sencilla que expresa la entropía

$$S = \frac{Akc^3}{4Gh}$$

en función del área A del horizonte y de tres constantes fundamentales de la naturaleza, c , la velocidad de la luz, G , la constante de Newton de la gravitación, y h la constante de Planck. La emisión de dicha radiación térmica por parte del agujero negro se denomina ahora radiación de Hawking y me siento orgulloso de haberla descubierto. En 1974, fui elegido miembro de la Royal Society. Mi elección constituyó una sorpresa para los miembros de mi departamento porque yo era muy joven y tan solo un simple ayudante de investigación. Pero al cabo de tres años me ascendieron a profesor. Mi trabajo sobre agujeros negros me dio la esperanza de descubrir una teoría del todo, y esa búsqueda me mantuvo en marcha.

El mismo año, mi amigo Kip Thorne nos invitó, a nosotros y a otros que trabajaban en relatividad general, al Instituto de Tecnología de California (Caltech). En los últimos cuatro años, había estado usando una silla de ruedas manual y un triciclo eléctrico azul, que se movía con la lentitud de una bicicleta y en el que a veces transportaba pasajeros ilegalmente. Cuando fuimos a California, nos alojamos en una casa de estilo colonial propiedad del Caltech cerca del campus y allí utilicé por primera vez una silla de ruedas eléctrica. Eso me otorgó un grado considerable de independencia, especialmente gracias a que en Estados Unidos los edificios y las aceras son mucho más accesibles para los discapacitados que en Gran Bretaña.

Cuando volvimos del Caltech en 1975, al principio me sentí bastante bajo de moral. Todo me parecía provinciano y restringido en comparación con la actitud de “sí se puede” que hay en América. En aquel momento, el paisaje estaba lleno de árboles muertos por la epidemia del olmo holandés y el país estaba asolado por las huelgas. Sin embargo, mi ánimo mejoró cuando vi el éxito de mi trabajo y cuando fui elegido, en 1979, para la Cátedra Lucasiana de Matemáticas, un cargo que había sido ocupado por sir Isaac Newton y por Paul Dirac.

Durante la década de 1970, había estado trabajando principalmente en agujeros negros pero mi interés en la cosmología se renovó con las sugerencias de que el universo primitivo había pasado por un período de rápida expansión inflacionaria durante la cual su tamaño creció a un ritmo cada vez mayor, tal como los precios han aumentado desde el Brexit. También pasé un tiempo trabajando con Jim Hartle, explorando la teoría del nacimiento del universo que denominamos “de ausencia de fronteras”.

A principios de los años ochenta, mi salud continuó empeorando, y sufrí ataques de asfixia prolongados porque mi laringe se iba debilitando y dejaba pasar comida a los pulmones. En 1985, en un viaje al CERN, el Centro Europeo de Investigación Nuclear, en Suiza, contraí una neumonía. Aquel momento cambió mi vida. Me llevaron con urgencia al Hospital Cantonal de Lucerna y me pusieron respiración asistida. Los doctores sugirieron a Jane que las cosas habían llegado a un punto en que ya nada se podía hacer y le sugirieron apagar el ventilador y terminar mi vida. Pero Jane se negó y ordenó que me trasladaran al Hospital Addenbrooke, en Cambridge, en ambulancia aérea.

Como pueden imaginar, fue una época muy difícil, pero afortunadamente los doctores en Addenbrooke hicieron todo lo posible para devolverme a mi estado anterior a la visita a Suiza. Sin embargo, como mi laringe aún dejaba pasar comida y saliva a los pulmones, tuvieron que realizarme una traqueotomía. Como la mayoría de ustedes sabrá, una traqueotomía elimina la capacidad de hablar. La voz es muy importante. Si se arrastra, como la mía, la gente puede pensar que eres mentalmente deficiente y te trate en consecuencia. Antes de la traqueotomía mi discurso era tan indistinto que solo las personas que me conocían bien podían entenderme. Mis hijos eran de los pocos que lo conseguían. Durante un tiempo tras la traqueotomía, la única forma en que podía comunicarme era ir formando palabras, letra a letra, levantando las cejas cuando alguien señalaba la

letra correcta en un abecedario.

Afortunadamente, un experto en informática de California llamado Walt Woltosz se enteró de mis dificultades y me envió un programa de ordenador que había escrito llamado *Ecualizador*. Esto me permitió seleccionar palabras completas de una serie de menús en la pantalla del ordenador de mi silla de ruedas, presionando un botón con la mano. Desde entonces, el sistema se ha desarrollado mucho. Hoy uso un programa llamado Acat, desarrollado por Intel, que controlo con un pequeño sensor en mis gafas mediante movimientos de mis mejillas. Tiene un teléfono móvil, que me da acceso a Internet. Puedo afirmar que soy la persona más conectada del mundo. Sin embargo, para hablar he mantenido el programa Sintetizador original, en parte porque no he escuchado ninguno con mejor fraseo, y en parte porque ahora me identifico con su voz, a pesar de su acento americano.

La idea de escribir un libro de divulgación sobre el universo me vino en 1982, en la época de mi trabajo en la teoría de la ausencia de fronteras. Pensé que me permitiría ganar una cantidad modesta para ayudar a los gastos escolares de mis hijos y a los crecientes costos de mi cuidado, pero la razón principal era que quería explicar cuanto creía haber avanzado en nuestra comprensión del universo: cuán cerca podríamos estar de encontrar una teoría completa que describa el universo y todo lo que contiene. No solo es importante hacer preguntas y encontrar las respuestas: como científico me sentía obligado a comunicar a la gente lo que estábamos aprendiendo.

Apropiadamente, *Historia del tiempo* se publicó por primera vez el Día de los Inocentes (primero de abril) de 1988. De hecho, originalmente el libro debía llamarse *Del Big Bang a los agujeros negros. Historia del tiempo*. El título se acortó y el resto es historia. Nunca esperé que *Historia del tiempo* tuviera tanto éxito como tuvo. Sin duda, la historia de interés humano de cómo he logrado llegar a ser un físico teórico y un autor superventas a pesar de mi discapacidad ha ayudado. No todos han podido llegar a terminarlo ni han entendido todo lo que leen, pero al menos han lidiado con una de las grandes preguntas de nuestra existencia y captaron la idea de que vivimos en un universo gobernado por leyes racionales que, a través de la ciencia, podemos descubrir y comprender.

Para mis colegas, solo soy otro físico, pero para el público en general me convertí posiblemente en el científico más conocido del mundo. Esto se debe en parte a que los científicos, salvo Einstein, no son tan

conocidos como las estrellas de rock, y en parte porque encajo en el estereotipo de un genio discapacitado. No puedo disfrazarme con una peluca y gafas oscuras; la silla de ruedas me delata. Ser famoso y fácilmente reconocible tiene ventajas e inconvenientes, pero los inconvenientes son más que superados por las ventajas. La gente parece realmente complacida de verme. Incluso tuve la audiencia más amplia de mi vida cuando hice de presentador de los Juegos Paralímpicos de Londres en 2012.

He tenido una vida extraordinaria en este planeta, mientras que, al mismo tiempo, he viajado por el universo mediante mi mente y las leyes de la física. He estado en los confines más lejanos de nuestra galaxia, he viajado a agujeros negros y he regresado al principio de los tiempos. En la Tierra, he experimentado altibajos, turbulencia y paz, éxito y sufrimiento, he sido rico y pobre, capaz y discapacitado. Me han elogiado y criticado, pero nunca me han ignorado. Me he sentido enormemente privilegiado de poder contribuir, con mi trabajo, a nuestra comprensión del universo. Pero sería un universo vacío, si no fuera por las personas que amo y que me aman. Sin ellas, la maravilla de todo se habría perdido para mí.

Y al final de todo esto, el hecho de que los humanos, que al fin y al cabo somos conjuntos de partículas fundamentales de la naturaleza, hayamos podido alcanzar una cierta comprensión de las leyes que gobiernan el universo y a nosotros mismos, es un gran triunfo. Quiero compartir mi emoción sobre esas grandes preguntas y mi entusiasmo sobre esa búsqueda.

1.4 ¿Cuál era su sueño cuando era un niño, y hasta qué punto se ha realizado?

Quería ser un gran científico. Sin embargo, en la escuela no era muy buen estudiante y raramente me hallaba en la primera mitad de mi clase. Mi trabajo era bastante deficiente y mi escritura poco aseada. Pero en la escuela tenía buenos amigos y hablábamos de todo y, en especial, sobre el origen del universo. Aquí es donde empezó mi sueño, y he tenido la suerte de que se ha realizado.

Espero que algún día lleguemos a saber las respuestas a todas esas preguntas. Pero hay otros desafíos, otras grandes preguntas en el planeta que deben ser respondidas, y estas también necesitan una nueva generación interesada, comprometida y que comprenda bien la ciencia. ¿Cómo alimentar a una población en constante

crecimiento, proporcionar agua limpia, generar energía renovable, prevenir y curar enfermedades, y frenar el cambio climático global? Espero que la ciencia y la tecnología proporcionen las respuestas a esas preguntas, pero hará falta gente con conocimiento y comprensión para implementar esas soluciones. Debemos luchar para que cada mujer y cada hombre tengan la oportunidad de vivir vidas sanas y seguras, con oportunidades y amor. Todos somos viajeros en el tiempo, viajamos juntos hacia el futuro. Trabajemos unidos para construir ese futuro, un lugar que nos guste visitar. Seamos valientes, curiosos, decididos, superemos las dificultades. Se puede conseguir

2 ¿Cómo empezó todo?

Hamlet dijo: “Podría estar encerrado en una cáscara de nuez y considerarme rey de un espacio infinito”. Creo que lo que quería decir es que, aunque los humanos somos físicamente muy limitados, particularmente en mi propio caso, nuestras mentes son libres de explorar todo el universo y de ir con valentía incluso hasta donde Star trek teme pisar. ¿Es el universo realmente infinito, o tan solo muy grande? ¿Tuvo un comienzo? ¿Durará siempre más o solo mucho tiempo? ¿Cómo pueden nuestras mentes finitas comprender un universo infinito? ¿No resulta pretencioso incluso el hecho de intentarlo?

A riesgo de incurrir en el destino de Prometeo, que robó el fuego de los dioses para que lo utilizaran los humanos, creo que podemos y debemos tratar de entender el universo. Su castigo fue ser encadenado a una roca para toda la eternidad, aunque felizmente fue liberado por Hércules. Ya hemos hecho progresos notables en la comprensión del cosmos, aunque todavía no tenemos una imagen completa de él. Me gusta pensar que quizás no estemos muy lejos de conseguirla.

Según el pueblo de los Boshongo, de África central, al principio solo había la oscuridad, el agua y el gran dios Bumba. Un día Bumba, con dolor de estómago, vomitó el Sol. El Sol secó parte del agua, dejando al descubierto la tierra. Todavía dolorido, Bumba vomitó la Luna, las estrellas y luego algunos animales: el leopardo, el cocodrilo, la tortuga y, finalmente, el hombre.

Esos mitos de creación, como muchos otros, intentan responder las preguntas que todos nos formulamos. ¿Por qué estamos aquí? ¿De dónde venimos? La respuesta más habitual es que los humanos son

de origen relativamente reciente porque es obvio que la especie humana va mejorando en conocimiento y tecnología. Por lo tanto, no puede haber existido desde hace mucho tiempo ya que si fuera así habría progresado mucho más aún. Por ejemplo, según el obispo Ussher, el libro del Génesis sitúa el principio del tiempo en el atardecer del 22 de octubre de 4004 a. C. a las seis de la tarde. En cambio, el entorno físico, como las montañas y los ríos, cambia muy poco en toda la vida de un humano. Por lo tanto, se pensaba que eran un fondo constante y que o bien existió desde siempre como un paisaje vacío, o bien fue creado al mismo tiempo que los humanos. Sin embargo, no todos se sentían satisfechos con la idea de que el universo hubiera tenido un comienzo. Por ejemplo, Aristóteles, el más famoso de los filósofos griegos, creía que el universo tenía que haber existido siempre. Algo eterno es más perfecto que algo creado. Sugirió que la razón por la que vemos progreso es que se habían ido repitiendo inundaciones u otros desastres naturales, que hacían retroceder la civilización a sus orígenes. La motivación para creer en un universo eterno era el deseo de evitar invocar la intervención divina para crear el universo y ponerlo en marcha. En cambio, los que creían que el universo tuvo un comienzo, lo usaron como argumento para la existencia de Dios como primera causa, o primer motor, del universo.

Si uno creía que el universo tuvo un comienzo, las preguntas obvias eran: ¿Qué sucedió antes del comienzo? ¿Qué estaba haciendo Dios antes de hacer el mundo? ¿Estaba preparando el infierno para las personas que hicieran este tipo de preguntas? El problema de si el universo tuvo o no un comienzo constituyó una gran preocupación para el filósofo alemán Immanuel Kant. Constató que, tanto si lo hubiera tenido como si no, había contradicciones lógicas, o antinomias. Si el universo había tenido un comienzo, ¿por qué transcurrió un tiempo infinito antes de que comenzara? Llamó a eso la tesis. Por otro lado, si el universo había existido siempre, ¿por qué tardó un tiempo infinito en llegar a la etapa actual? Llamó a eso la antítesis. Tanto la tesis como la antítesis dependían del hecho de que Kant suponía, como casi todos los demás, que el tiempo era absoluto. Es decir, que el tiempo va de un pasado infinito a un futuro infinito independientemente de cualquier universo que haya podido existir o dejado de existir.

Esta sigue siendo la imagen en la mente de muchos científicos hoy en día. Sin embargo, en 1915 Einstein presentó su revolucionaria teoría general de la relatividad. En ella, el espacio y el tiempo no son

absolutos ni son un fondo fijo en que se producen los acontecimientos sino magnitudes dinámicas cuya forma depende de la materia y la energía en el universo, y que tan solo están definidas dentro del universo, por lo cual no tiene sentido hablar de tiempo antes de que el universo comenzara. Eso sería como preguntar por un punto al sur del Polo Sur. No está definido.

Aunque la teoría de Einstein unificó el tiempo y el espacio, no nos dice mucho sobre el espacio en sí. Algo que parece obvio sobre el espacio es que sigue y sigue y sigue. No esperamos que el universo termine en una pared de ladrillos, aunque no hay ninguna razón lógica por la que ello no pueda ocurrir. No obstante, instrumentos modernos como el telescopio espacial Hubble nos permiten explorar profundamente en el espacio. Lo que vemos son centenares de miles de millones de galaxias, de diversas formas o tamaños. Hay galaxias elípticas gigantes y galaxias espirales como la nuestra. Cada galaxia contiene centenares de miles de millones de estrellas, muchas de las cuales tienen planetas a su alrededor. Nuestra propia galaxia bloquea nuestra visión en ciertas direcciones, pero, salvo eso, las galaxias se distribuyen aproximadamente de manera uniforme en el espacio, con algunas concentraciones y vacíos locales. La densidad del número de galaxias parece disminuir a distancias muy grandes, pero parece que es simplemente porque están tan lejos y se ven tan débiles que no podemos distinguirlas. Por lo que podemos decir, el universo se prolonga indefinidamente en el espacio, más o menos parecido a como es aquí.

Aunque el universo parece ser muy similar en cada posición en el espacio, definitivamente cambia en el tiempo. Esto no se observó hasta los primeros años del siglo pasado. Hasta entonces, se creía que el universo era esencialmente constante en el tiempo. Podría haber existido durante un tiempo infinito, pero eso parecía llevar a conclusiones absurdas. Si las estrellas hubieran estado radiando durante un tiempo infinito, habrían calentado el universo hasta su temperatura. Incluso por la noche, todo el cielo sería tan brillante como el Sol, porque cada línea de visión terminaría en una estrella o en una nube de polvo que se habría calentado hasta la temperatura de las estrellas. Entonces, la observación que todos hemos hecho de que el cielo por la noche es oscuro, es muy importante. Implica que el universo no puede haber existido siempre en el estado en que lo vemos hoy. Algo debe haber sucedido en el pasado para hacer que las estrellas se encendieran hace un tiempo finito. Así, la luz de las estrellas muy

distantes no habría tenido tiempo de alcanzarnos todavía. Esto explicaría por qué el cielo nocturno no brilla en todas direcciones.

Si las estrellas hubieran estado ahí desde siempre, ¿por qué se iluminaron repentinamente hace unos cuantos miles de millones de años? ¿Qué reloj les indicó que había llegado la hora de brillar? Esto desconcertó a los filósofos que, como Immanuel Kant, creían que el universo había existido siempre. No obstante, para la mayoría de la gente, resultaba consistente con la idea de que el universo había sido creado como es ahora, hace solo unos pocos miles de años, como había concluido el obispo Ussher. Sin embargo, las discrepancias con esta idea comenzaron a aparecer con observaciones del telescopio de cientos de pulgadas del observatorio del Monte Wilson, en la década de 1920. Primero, Edwin Hubble descubrió que muchas manchas de luz muy tenues, llamadas nebulosas, eran de hecho otras galaxias, grandes colecciones de estrellas como nuestro Sol, pero a una gran distancia. Para que parezcan tan pequeñas y débiles, las distancias tenían que ser tan grandes que su luz habría tardado millones o incluso miles de millones de años hasta llegar a nosotros. Esto indicó que el comienzo del universo no podría haberse producido hace tan solo unos miles de años.

Pero la segunda cosa que descubrió Hubble resultó aún más notable. Mediante un análisis de la luz de las galaxias, Hubble pudo medir si se estaban acercando hacia nosotros o alejándose. Con gran sorpresa, descubrió que casi todas se estaban alejando. Además, cuanto más alejadas estaban, más rápidamente se alejaban. En otras palabras, el universo se está expandiendo. Las galaxias se están alejando las unas de las otras.

El descubrimiento de la expansión del universo fue una de las grandes revoluciones intelectuales del siglo XX. Fue una sorpresa total y cambió por completo la discusión sobre el origen del universo. Si las galaxias se están separando, deben haber estado más juntas en el pasado. A partir de la tasa actual de expansión, podemos estimar que debieron haber estado muy juntas hace de unos diez a unos quince mil millones de años. Parece, pues, que el universo podría haber comenzado en aquella época, con todo su contenido en el mismo punto en el espacio.

No obstante, muchos científicos discrepaban de la idea de que el universo hubiera tenido un comienzo, porque parecía implicar que la física dejaba de ser válida. Uno debería invocar a un agente externo, que a efectos prácticos podemos llamar Dios, para determinar cómo

comenzó el universo. Por lo tanto propusieron teorías en las que el universo se estaba expandiendo en el presente, pero no había tenido comienzo. Una de ellas era la teoría del estado estacionario, propuesta por Hermann Bondi, Thomas Gold y Fred Hoyle en 1948.

En la teoría del estado estacionario, la idea era que a medida que las galaxias se separaban, iban apareciendo nuevas galaxias a partir de materia que, según se suponía, se iba creando continuamente en el espacio. El universo habría existido siempre y siempre habría tenido el mismo aspecto. Esta última propiedad tenía la gran virtud de ser una predicción concreta que podría ser sometida a observación. En la década de 1960, el grupo de radioastronomía de Cambridge, dirigido por Martin Ryle, hizo un amplio estudio de radiofuentes. Estas se distribuían de manera bastante uniforme en todo el cielo, lo que indica que la mayoría de las fuentes se encuentran fuera de nuestra galaxia. Las fuentes más débiles estarían más lejos, en promedio.

La teoría del estado estacionario predecía una relación entre la cantidad de fuentes y sus intensidades. Pero las observaciones mostraron más fuentes débiles que las predichas, lo cual indica que la densidad de fuentes fue más alta en el pasado. Esto entraba en contradicción con la suposición básica de la teoría del estado estacionario de que todo permanecía constante en el tiempo. Por eso, y por otros motivos, la teoría del estado estacionario fue abandonada.

Otro intento de evitar que el universo hubiera tenido un comienzo fue la sugerencia de que había habido una fase previa de contracción, pero que, debido a la rotación y a las irregularidades locales, no todas las galaxias habrían coincidido en el mismo punto. Las diferentes galaxias habrían pasado unas al lado de otras, y el universo se habría vuelto a expandir con densidad siempre finita. De hecho, dos físicos rusos, Yevgueni Lifshits e Isaak Khalatnikov, afirmaron haber demostrado que una contracción general sin simetría exacta siempre conduciría a un rebote, con densidad siempre finita. Este resultado era muy conveniente para el materialismo dialéctico marxista-leninista porque evitaba preguntas incómodas sobre la creación del universo. Por lo tanto, se convirtió en un artículo de fe para los científicos soviéticos.

El comienzo de mi investigación en cosmología se produjo casi al mismo tiempo en que Lifshits y Khalatnikov publicaron su conclusión de que el universo no había tenido un comienzo. Me di cuenta de que esto era una cuestión muy importante, pero no me convencieron

los argumentos que Lifshits y Khalatnikov habían usado.

Estamos acostumbrados a la idea de que los sucesos son causados por sucesos anteriores, que a su vez son causados por sucesos aún anteriores. Hay una cadena de causalidades que se remonta al pasado. Pero supongamos que esa cadena tiene un comienzo, supongamos que hubo un primer suceso. ¿Qué lo causó? Esta no era una pregunta que muchos científicos quisieran abordar. Intentaban evitarla, ya sea suponiendo, al igual que los rusos y los teóricos del estado estacionario, que el universo no tuvo comienzo, o sosteniendo que su origen no entra en el ámbito de la ciencia sino que corresponde a la metafísica o la religión. En mi opinión, ningún científico verdadero debería adoptar esa posición. Si las leyes de la ciencia quedan en suspenso al comienzo del universo, es posible que también fallen en otros momentos. Una ley no es una ley si solo se cumple a veces. Creo que deberíamos tratar de entender el comienzo del universo sobre la base de la ciencia. Puede ser una tarea más allá de nuestro alcance, pero al menos deberíamos intentarlo.

Roger Penrose y yo logramos probar teoremas geométricos que demostraban que si la teoría de la relatividad general de Einstein es correcta, y si se satisfacen ciertas condiciones razonables, el universo debe haber tenido un comienzo. Es difícil discutir con un teorema matemático, por lo que al final Lifshits y Khalatnikov admitieron que el universo debería haber tenido un comienzo. Aunque la idea de un principio del universo no fuese bienvenida por las ideas comunistas, nunca se permitió que la ideología se interpusiera en el camino de la física. La física era necesaria para la bomba, y era importante que funcionara. En cambio, la ideología soviética impidió el progreso en biología al negar la verdad de la genética.

Aunque los teoremas que Roger Penrose y yo demostramos pusieron de manifiesto que el universo tuvo que tener un comienzo, no dieron mucha información sobre la naturaleza de dicho comienzo. Indicaban que el universo comenzó en el *big bang*, un instante en que todo el universo, y todo su contenido, se comprimió en un único punto de densidad infinita, una singularidad del espacio-tiempo. En este punto, la teoría de la relatividad general de Einstein habría dejado de ser válida. Por lo tanto, no podemos usarla para decir cómo comenzó el universo. El origen del universo, pues, parece quedar fuera del alcance de la ciencia.

La evidencia observacional para confirmar la idea de que el universo tuvo un comienzo muy denso llegó en octubre de 1965, unos meses

después de mi primer resultado sobre la singularidad, con el descubrimiento de un tenue fondo de microondas en el espacio. Esas microondas son las mismas que las de los hornos de microondas, pero mucho menos potentes. Calentarían una pizza tan solo a 270,4 grados Celsius bajo cero, lo cual no es muy adecuado para descongelarla, y mucho menos para cocinarla. Podemos observar esas microondas sintonizando el televisor en un canal vacío. Un pequeño tanto por ciento de la nieve que vemos en la pantalla es debido a ese fondo de microondas. La única interpretación razonable del fondo es que es la radiación remanente de un estado temprano muy caliente y denso. A medida que el universo se expandió, la radiación se habría enfriado hasta reducirse al tenue remanente que actualmente observamos.

Que el universo hubiera comenzado con una singularidad no era una idea que me gustara, ni a mí ni a muchos otros. La razón por la que la relatividad general de Einstein dejaba de ser válida cerca del *big bang* era que se trata de lo que llamamos una teoría clásica. Es decir, suponía implícitamente lo que parece obvio por el sentido común: que cada partícula tiene una posición y una velocidad bien definidas. En una teoría clásica así, si conociéramos simultáneamente las posiciones y las velocidades de todas las partículas del universo, podríamos calcular dónde estarían en cualquier otro momento, pasado o futuro. Sin embargo, a principios del siglo XX, los científicos descubrieron que no podían calcular exactamente lo que sucedería a distancias muy cortas. No era solo que se necesitaran mejores teorías. Parece que en la naturaleza hay un cierto nivel de aleatoriedad o incertidumbre, que no se puede eliminar por muy buenas que sean las teorías. Eso se puede resumir en el Principio de Incertidumbre, formulado en 1927 por el científico alemán Werner Heisenberg. No es posible predecir con exactitud tanto la posición como la velocidad de una partícula. Cuanto más exactamente se predice la posición, con menor precisión se podrá predecir la velocidad, y viceversa.

Einstein objetó fuertemente la idea de que el universo está gobernado por el azar. Sus sentimientos fueron resumidos en su famoso dicho “Dios no juega a los dados”. Pero todas las evidencias apuntan a que Dios es un buen jugador. El universo es como un casino gigante con dados o ruletas rodando. El propietario de un casino corre el riesgo de perder dinero cada vez que se lanza un dado o se hace girar una ruleta. No obstante, en un gran número de apuestas, las probabilidades promedian y el propietario del casino se asegura de que

promedien a su favor. Por eso los dueños de casinos son tan ricos. La única posibilidad que tiene de ganar contra ellos es apostar todo su dinero en unos pocos lanzamientos de dados o vueltas de ruleta.

Lo mismo ocurre con el universo. Cuando el universo es grande, hay una gran cantidad de lanzamientos de dados y los resultados promedian a algo que podemos predecir. Pero cuando el universo es muy pequeño, cerca del *big bang*, solo hay una pequeña cantidad de lanzamientos de dados, y el Principio de Incertidumbre resulta muy importante. Para entender el origen del universo, por lo tanto, tenemos que incorporar el Principio de Incertidumbre en la teoría general de la relatividad de Einstein. Este ha sido el gran desafío en física teórica en los últimos treinta años. Todavía no lo hemos resuelto, pero hemos progresado mucho.

Supongamos ahora que intentamos predecir el futuro. Como solo conocemos cierta combinación de la posición y la velocidad de una partícula, no podemos efectuar predicciones precisas acerca de sus posiciones y velocidades futuras. Solo podemos asignar una probabilidad a combinaciones particulares de posiciones y velocidades. Por lo tanto, hay una cierta probabilidad de un futuro particular de nuestro universo. Pero ahora supongamos que intentamos comprender el pasado de la misma manera.

Dada la naturaleza de las observaciones que podemos llevar a cabo hoy, todo lo que podemos hacer es asignar una probabilidad a una historia particular del universo. Así el universo debe tener cada historia posible, cada una con su propia probabilidad. Debe haber una historia del universo en que Inglaterra vuelve a ganar la Copa del Mundo, aunque tal vez la probabilidad sea baja. La idea de que el universo tiene múltiples historias puede parecer ciencia ficción, pero es ahora aceptada como hecho científico. Es debida a Richard Feynman, que trabajó en el eminentemente respetable Instituto de Tecnología de California, y tocaba a veces los tambores de bongo en un local de carretera. La idea en que se basa el enfoque de Feynman a cómo funcionan las cosas consiste en asignar una probabilidad particular a cada historia. Funciona espectacularmente bien para predecir el futuro, de manera que creemos que también funciona para explorar el pasado.

Actualmente, los científicos están trabajando para combinar la teoría de la relatividad general de Einstein y la idea de Feynman de historias múltiples en una teoría unificada completa que describa todo lo que sucede en el universo. Esa teoría unificada nos permitirá calcular

cómo evolucionará el universo, si conocemos su estado en un momento dado. Pero la teoría unificada en sí no dice cómo comenzó el universo, ni cuál fue su estado inicial. Para eso, necesitamos las denominadas condiciones de frontera, que nos dicen lo que sucede en las fronteras del universo, los bordes del espacio y del tiempo. Pero si la frontera del universo fuera un punto normal de espacio y tiempo, podríamos traspasarlo y reclamar el territorio de más allá como parte del universo. Por otro lado, si el límite del universo estuviera en un borde irregular donde el espacio o el tiempo se arrugan y la densidad se hiciera infinita, sería muy difícil definir condiciones de frontera significativas.

No obstante, Jim Hartle, de la Universidad de California (Santa Bárbara), y yo nos dimos cuenta de que había una tercera posibilidad. Tal vez el universo no tiene límite en el espacio y el tiempo. A primera vista, esto parece estar en contradicción directa con los teoremas geométricos que mencioné antes, que muestran que el universo debe haber tenido un comienzo, un límite en el tiempo. Sin embargo, para hacer que las técnicas de Feynman resulten matemáticamente bien definidas, los matemáticos desarrollaron un concepto denominado tiempo imaginario. Tiene poco que ver con el tiempo que experimentamos. Es un truco matemático para lograr que los cálculos funcionen y reemplaza el tiempo real que experimentamos. Nuestra idea fue decir que no había frontera en el tiempo imaginario. Llamamos a esta propuesta “ausencia de fronteras”.

Si la condición de frontera del universo es que no tiene fronteras en el tiempo imaginario, no tendrá una única historia. Hay muchas historias en el tiempo imaginario y cada una de ellas determina una historia en el tiempo real. Por lo tanto, tenemos una gran abundancia de historias para el universo. ¿Qué distingue una historia particular, o el conjunto de historias en que vivimos, del conjunto de todas las historias posibles del universo?

Un punto que podemos notar es que muchas de esas posibles historias del universo no pasan por la secuencia de formación de galaxias y estrellas, algo que fue esencial para nuestro propio desarrollo. Es posible que seres inteligentes puedan evolucionar sin galaxias y estrellas, pero parece poco probable. Así que el hecho de que existamos como seres que pueden hacerse la pregunta “¿Por qué el universo es como es?” es una restricción sobre la historia en que vivimos. Implica que es una de la minoría de historias que contienen

galaxias y estrellas. Este es un ejemplo de lo que se conoce como principio antrópico. El principio antrópico dice que el universo tiene que ser más o menos como lo vemos, porque si fuera diferente no habría nadie para observarlo.

A muchos científicos les desagrada el principio antrópico, porque les parece poco preciso y sin mucho poder predictivo. Pero el principio antrópico puede recibir una formulación precisa, y parece esencial cuando se considera el origen del universo. La teoría M, que es nuestro mejor candidato para una teoría unificada completa, permite un gran número de historias posibles del universo. La mayoría de esas historias son bastante inadecuadas para el desarrollo de vida inteligente: o están vacías, o duran demasiado poco, o están demasiado curvadas, o fallan de alguna otra manera. Sin embargo, según la idea de múltiples historias de Richard Feynman, esas historias deshabitadas pueden tener una probabilidad bastante alta.

Realmente no nos importa cuántas historias pueda haber que no contengan seres inteligentes. Solo nos interesa el subconjunto de historias en que se desarrolla vida inteligente. La vida inteligente no tiene por qué ser como los humanos. Pequeños hombres verdes también podrían serlo. De hecho, podrían hacerlo mejor: nuestra especie humana no tiene un gran historial en comportamiento inteligente.

Como ejemplo del poder del principio antrópico, consideremos el número de direcciones en el espacio. Es una experiencia común que vivimos en un espacio tridimensional. Es decir, podemos representar la posición de un punto en el espacio mediante tres números, por ejemplo, latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar. Pero ¿por qué el espacio es tridimensional? ¿Por qué no hay dos, cuatro o algún otro número de dimensiones, como en ciencia ficción? De hecho, en la teoría M el espacio tiene diez dimensiones, pero se cree que siete de ellas están curvadas sobre sí mismas con un radio muy pequeño, dejando tres direcciones grandes y casi planas. Es como una paja de beber: la superficie de una paja es bidimensional, pero una dirección está acurrucada en un círculo pequeño de modo que, de lejos, la paja parece una línea unidimensional.

¿Por qué no vivimos en una historia en que ocho dimensiones estén acurrucadas, dejando solo dos dimensiones extensas? En un animal bidimensional la digestión sería un trabajo difícil. Si tuviera un intestino que lo atravesara, como nosotros, lo dividiría en dos y la pobre criatura se derrumbaría. Así que dos direcciones extensas son insuficientes para una cosa tan complicada como la vida inteligente. Hay

algo especial respecto de las tres dimensiones espaciales. En tres dimensiones, los planetas pueden tener órbitas estables alrededor de las estrellas. Es una consecuencia de que la gravitación obedezca la ley del inverso de los cuadrados, tal como descubrió Robert Hooke en 1665 y desarrolló Isaac Newton. Pensemos en la atracción gravitatoria entre dos cuerpos separados una cierta distancia. Si dicha distancia se duplica, la fuerza se divide por cuatro; si la distancia se triplica, la fuerza se divide por nueve; si se cuadruplica, la fuerza se divide por dieciséis, y así sucesivamente. Eso conduce a órbitas planetarias estables. Pensemos ahora en un universo de cuatro dimensiones espaciales. En él, la gravitación obedecería una ley del inverso de los cubos. Si la distancia entre dos cuerpos se duplicara, la fuerza se dividiría por ocho; si se triplicara, se dividiría por veintisiete; si se cuadruplicara, se dividiría por sesenta y cuatro. Este cambio, una ley del inverso de los cubos, impediría que los planetas tuvieran órbitas estables alrededor de sus soles. O bien caerían a su sol, o escaparían a la oscuridad y frío exteriores. Del mismo modo, las órbitas de los electrones en los átomos no serían estables, así que no existiría la materia tal como la conocemos. Por lo tanto, aunque la idea de historias múltiples permitiría cualquier número de direcciones extensas, únicamente historias con tres direcciones extensas contendrán seres. Solo en tales historias se formulará la pregunta “¿Por qué el espacio tiene tres dimensiones?”.

Una característica notable del universo que observamos es el fondo de microondas descubierto por Arno Penzias y Robert Wilson. Es esencialmente un remanente fósil de cuando el universo era muy joven. Ese fondo es casi el mismo independientemente de la dirección en que lo observemos. Las diferencias entre las diferentes direcciones son menores que una parte en 100.000. Esas diferencias son increíblemente diminutas y necesitan alguna explicación. La explicación generalmente aceptada de esa homogeneidad es que en épocas muy tempranas el universo experimentó un período de expansión muy rápida, en que creció en un factor de mil billones de billones. Ese proceso se denomina inflación, algo que fue bueno para el universo, a diferencia de lo que ocurre con la inflación de los precios que tan a menudo nos agobia. Si eso fuera todo, la radiación de microondas sería completamente idéntica en todas direcciones. Así pues, ¿de dónde proceden esas diminutas discrepancias?

2.1 ¿Qué había antes del big bang?

Según la propuesta de ausencia de fronteras, preguntar lo que había antes del *big bang* carece de sentido —es como preguntar qué hay al sur del Polo Sur— porque no hay noción de tiempo a la que nos podamos referir. El concepto de tiempo solo existe en el universo.

A principios de 1982, escribí un artículo proponiendo que esas diferencias surgieron de las fluctuaciones cuánticas durante el período inflacionario. Las fluctuaciones cuánticas tienen lugar como consecuencia del Principio de Incertidumbre. Además, dichas fluctuaciones fueron las semillas de las estructuras de nuestro universo, de las estrellas de las galaxias y de nosotros mismos. Esa idea es básicamente el mismo mecanismo que la llamada radiación Hawking del horizonte de los agujeros negros, que predije una década antes, excepto que ahora proviene del horizonte cosmológico, la superficie que divide el universo entre la parte que podemos observar y la que no podemos observar. Aquel verano celebramos un congreso en Cambridge, al que asistieron todas las principales figuras en dicho campo. En esa reunión, establecimos la mayor parte de la imagen actual de la inflación, incluidas las importantes fluctuaciones de densidad, que dan lugar a la formación de galaxias, y a nuestra existencia. Diversas personas contribuyeron a la respuesta final. Eso fue diez años antes de que las fluctuaciones en el fondo cósmico de microondas fueran descubiertas por el satélite COBE en 1993, por lo que la teoría iba muy por delante de los experimentos.

La cosmología se convirtió en una ciencia de precisión diez años más tarde, en 2003, con los primeros resultados del satélite WMAP. El WMAP produjo un mapa maravilloso de la temperatura del fondo cósmico de microondas, una instantánea del universo cuando tenía aproximadamente una centésima parte de su edad actual. Las irregularidades que se observan son las predichas por la inflación, y significan que algunas regiones del universo tenían una densidad ligeramente más alta que otras. La atracción gravitatoria de la densidad adicional ralentiza la expansión de esa región, y puede hacer que acabe por colapsarse formando galaxias y estrellas. Así que observe con atención el mapa del cielo de microondas: es el anteproyecto de toda la estructura en el universo. Somos un producto de las fluctuaciones cuánticas del universo muy temprano. Dios realmente juega a los dados.

El satélite WMAP ha sido sustituido por el satélite Planck, con un mapa del universo de resolución mucho más alta. El satélite Planck está poniendo a prueba nuestras teorías muy seriamente, e incluso

puede detectar la impronta de las ondas gravitatorias predichas por la inflación. Esto sería la gravedad cuántica escrita en el cielo.

Puede haber otros universos. La teoría M predice que se crearon muchos universos de la nada, correspondientes a las diferentes historias posibles. Cada universo tiene muchas historias posibles y muchos estados posibles en tiempos ulteriores, es decir, en instantes como el presente, muy posteriores a su creación. La mayoría de esos estados serán bastante diferentes del universo que observamos.

Todavía hay esperanza de que veamos la primera evidencia de la teoría M en el acelerador de partículas LHC en Ginebra. Desde la perspectiva de la teoría M solo detecta bajas energías, pero podríamos estar de suerte y ver una señal más débil de la teoría fundamental, como la supersimetría. Pienso que el descubrimiento de socios supersimétricos de las partículas ya conocidas revolucionaría nuestra comprensión del universo.

En 2012, fue anunciado el descubrimiento del bosón de Higgs en el Gran Colisionador de Hadrones LHC del CERN en Ginebra. Fue el primer descubrimiento de una nueva partícula elemental en el siglo XXI. Todavía hay alguna esperanza de que el LHC descubra la supersimetría. Pero incluso si el LHC no descubre ninguna nueva partícula elemental, la supersimetría todavía podría ser hallada en la próxima generación de aceleradores que actualmente están siendo planeados.

El comienzo del universo en el *big bang* caliente es el laboratorio definitivo de altas energías para poner a prueba la teoría M y nuestras ideas sobre los bloques constituyentes del espacio-tiempo y de la materia. Diferentes teorías dejan huellas diferentes en la estructura actual del universo, por lo cual los datos astrofísicos pueden darnos pistas acerca de la unificación de todas las fuerzas de la naturaleza. Así que bien puede haber otros universos, pero desgraciadamente nunca podremos explorarlos.

Hemos visto algunas cosas sobre el origen del universo. Pero eso deja dos grandes preguntas. ¿Se acabará el universo? ¿El universo es único?

¿Cuál será el comportamiento futuro de las historias más probables del universo? Ahí parece haber varias posibilidades compatibles con la aparición de seres inteligentes. Dependen de la cantidad de materia en el universo. Si se supera una cierta cantidad crítica, la atracción gravitacional entre las galaxias ralentizará su expansión.

Al final, comenzarán a caer las unas hacia las otras y todas se unirán en una *gran implosión o big crunch*, que será el final de la historia del universo, en el tiempo real. Cuando estaba en el Lejano Oriente me pidieron que no mencionara el *big crunch*, por el efecto que pudiera tener en los mercados. Pero los mercados se colapsaron, así que tal vez la historia se produjo, en cierta manera. En Gran Bretaña, la gente no parece demasiado preocupada por un posible fin, situado a unos veinte mil millones de años en el futuro. Se puede comer y beber mucho y ser feliz, antes de eso.

Si la densidad del universo está por debajo del valor crítico, la gravedad es demasiado débil para impedir que las galaxias se sigan separando siempre más. Todas las estrellas se consumirán y el universo se irá quedando más y más vacío, y más y más frío. Entonces, de nuevo, las cosas llegarán a su fin, pero en una forma menos dramática. Aun así, nos quedan algunos miles de millones de años por delante.

En esta respuesta he tratado de explicar algo sobre los orígenes, el futuro y la naturaleza de nuestro universo. En el tiempo imaginario, comenzó como una esfera pequeña y ligeramente aplanada, bastante parecida a la cáscara de nuez con la que comencé el capítulo. Sin embargo, dicha cáscara codifica todo lo que sucede en el tiempo real. Así pues, Hamlet tenía razón. En pocas palabras, podemos estar confinados en una cáscara de nuez sin dejar de considerarnos reyes de un espacio infinito.