

Biblioteca
STEPHEN HAWKING

STEPHEN
HAWKING

HISTORIA
DEL
TIEMPO

Del Big Bang a los agujeros negros

CRÍTICA

Historia del tiempo

Del big bang a los agujeros negros

Stephen W. Hawking

Introducción de
Carl Sagan

Traducción castellana de
Miguel Ortuño
catedrático de Física
de la Universidad de Murcia

Crítica
Barcelona

Primera edición: octubre de 1988

Primera edición en esta nueva presentación: enero de 2025

Historia del tiempo. Del big bang a los agujeros negros

Stephen Hawking

La lectura abre horizontes, iguala oportunidades y construye una sociedad mejor.

La propiedad intelectual es clave en la creación de contenidos culturales porque sostiene el ecosistema de quienes escriben y de nuestras librerías.

Al comprar este libro estarás contribuyendo a mantener dicho ecosistema vivo y en crecimiento.

En Grupo Planeta agradecemos que nos ayudes a apoyar así la autonomía creativa de autoras y autores para que puedan continuar desempeñando su labor.

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra. Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47

Queda expresamente prohibida la utilización o reproducción de este libro o de cualquiera de sus partes con el propósito de entrenar o alimentar sistemas o tecnologías de inteligencia artificial.

Título original: *A Brief History of Time from the Big Bang to Black Holes*

© Stape Time Publications Ltd., 1988

Traducción de Miguel Ortuña

© de la introducción, Carl Sagan, 1988

© de las ilustraciones, Ron Miller, 1988

© Editorial Planeta, S. A., 2025

Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España) Crítica es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

editorial@ed-critica.es

www.ed-critica.es

ISBN: 978-84-9199-617-0

Depósito legal: B. 22.749-2024

Impresión y encuadernación: Arteos Digital *Printed in Spain* - Impreso en España



Capítulo 1

NUESTRA IMAGEN DEL UNIVERSO

Un conocido científico (algunos dicen que fue Bertrand Russell) daba una vez una conferencia sobre astronomía. En ella describía cómo la Tierra giraba alrededor del Sol y cómo éste, a su vez, giraba alrededor del centro de una vasta colección de estrellas conocida como nuestra galaxia. Al final de la charla, una simpática señora ya de edad se levantó y le dijo desde el fondo de la sala: «Lo que nos ha contado usted no son más que tonterías. El mundo es en realidad una plataforma plana sustentada por el caparazón de una tortuga gigante». El científico sonrió ampliamente antes de replicarle, «¿y en qué se apoya la tortuga?». «Usted es muy inteligente, joven, muy inteligente —dijo la señora—. ¡Pero hay infinitas tortugas una debajo de otra!».

La mayor parte de la gente encontraría bastante ridícula la imagen de nuestro universo como una torre infinita de tortugas, pero ¿en qué nos basamos para creer que lo conocemos mejor? ¿Qué sabemos acerca del universo, y cómo hemos llegado a saberlo? ¿De dónde surgió el universo, y a dónde va? ¿Tuvo el universo un principio, y, si así fue, que sucedió con anterioridad

a él? ¿Cuál es la naturaleza del tiempo? ¿Llegará éste alguna vez a un final? Avances recientes de la física, posibles en parte gracias a fantásticas nuevas tecnologías, sugieren respuestas a algunas de estas preguntas que desde hace mucho tiempo nos preocupan. Algún día estas respuestas podrán parecernos tan obvias como el que la Tierra gire alrededor del Sol, o, quizás, tan ridículas como una torre de tortugas. Sólo el tiempo (cualquiera que sea su significado) lo dirá.

Ya en el año 340 a.C. el filósofo griego Aristóteles, en su libro *De los Cielos*, fue capaz de establecer dos buenos argumentos para creer que la Tierra era una esfera redonda en vez de una plataforma plana. En primer lugar, se dio cuenta de que los eclipses lunares eran debidos a que la Tierra se situaba entre el Sol y la Luna. La sombra de la Tierra sobre la Luna era siempre redonda. Si la Tierra hubiera sido un disco plano, su sombra habría sido alargada y elíptica a menos que el eclipse siempre ocurriera en el momento en que el Sol estuviera directamente debajo del centro del disco. En segundo lugar, los griegos sabían, debido a sus viajes, que la estrella Polar aparecía más baja en el cielo cuando se observaba desde el sur que cuando se hacía desde regiones más al norte. (Como la estrella Polar está sobre el polo norte, parecería estar justo encima de un observador situado en dicho polo, mientras que para alguien que mirara desde el ecuador parecería estar justo en el horizonte.) A partir de la diferencia en la posición aparente de la estrella Polar entre Egipto y Grecia, Aristóteles incluso estimó que la distancia alrededor de la Tierra era de 400.000 estadios. No se conoce con exactitud cuál era la longitud de un estadio, pero puede que fuese de unos 200 metros, lo que supondría que la estimación de Aristóteles era aproximadamente el doble de la longitud hoy en día aceptada. Los griegos tenían incluso un tercer argumento en favor de que la Tierra debía de ser redonda, ¿por qué, si no, ve uno primero las velas de un barco que se acerca en el horizonte, y sólo después se ve el casco?

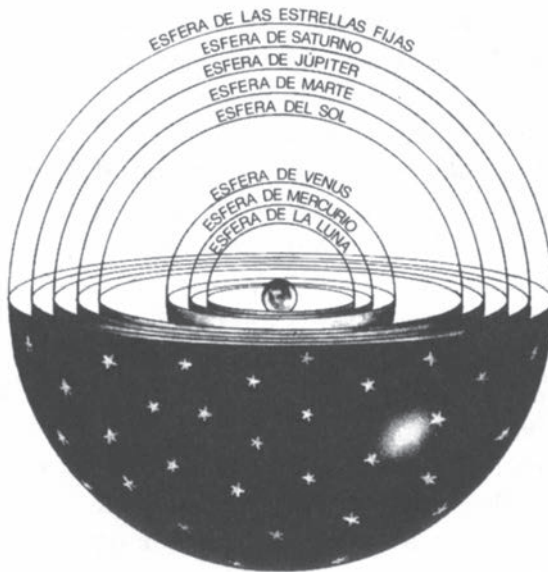


FIGURA 1.1

Aristóteles creía que la Tierra era estacionaria y que el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas se movían en órbitas circulares alrededor de ella. Creía eso porque estaba convencido, por razones místicas, de que la Tierra era el centro del universo y de que el movimiento circular era el más perfecto. Esta idea fue ampliada por Ptolomeo en el siglo II d.C. hasta constituir un modelo cosmológico completo. La Tierra permaneció en el centro, rodeada por ocho esferas que transportaban a la Luna, el Sol, las estrellas y los cinco planetas conocidos en aquel tiempo, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno (figura 1.1). Los planetas se movían en círculos más pequeños engarzados en sus respectivas esferas para que así se pudieran explicar sus relativamente complicadas trayectorias celestes. La esfera más externa transportaba a las llamadas estrellas fijas, las cuales siempre permanecían en las mismas posiciones relativas, las unas con respecto de las otras, girando juntas a través del cielo. Lo que había detrás de la

última esfera nunca fue descrito con claridad, pero ciertamente no era parte del universo observable por el hombre.

El modelo de Ptolomeo proporcionaba un sistema razonablemente preciso para predecir las posiciones de los cuerpos celestes en el firmamento. Pero, para poder predecir dichas posiciones correctamente, Ptolomeo tenía que suponer que la Luna seguía un camino que la situaba en algunos instantes dos veces más cerca de la Tierra que en otros. ¡Y esto significaba que la Luna debería aparecer a veces con tamaño doble del que usualmente tiene! Ptolomeo reconocía esta inconsistencia, a pesar de lo cual su modelo fue amplia, aunque no universalmente, aceptado. Fue adoptado por la Iglesia cristiana como la imagen del universo que estaba de acuerdo con las Escrituras, y que, además, presentaba la gran ventaja de dejar, fuera de la esfera de las estrellas fijas, una enorme cantidad de espacio para el cielo y el infierno.

Un modelo más simple, sin embargo, fue propuesto, en 1514, por un cura polaco, Nicolás Copérnico. (Al principio, quizás por miedo a ser tildado de hereje por su propia iglesia, Copérnico hizo circular su modelo de forma anónima.) Su idea era que el Sol estaba estacionario en el centro y que la Tierra y los planetas se movían en órbitas circulares a su alrededor. Pasó casi un siglo antes de que su idea fuera tomada verdaderamente en serio. Entonces dos astrónomos, el alemán Johannes Kepler y el italiano Galileo Galilei, empezaron a apoyar públicamente la teoría copernicana, a pesar de que las órbitas que predecía no se ajustaban fielmente a las observadas. El golpe mortal a la teoría aristotélico/ptolemaica llegó en 1609. En ese año, Galileo comenzó a observar el cielo nocturno con un telescopio, que acababa de inventar. Cuando miró al planeta Júpiter, Galileo encontró que éste estaba acompañado por varios pequeños satélites o lunas que giraban a su alrededor. Esto implicaba que no todo tenía que girar directamente alrededor de la Tierra, como Aristóteles y Ptolomeo habían supuesto. (Aún

era posible, desde luego, creer que las lunas de Júpiter se movían en caminos extremadamente complicados alrededor de la Tierra, aunque daban la impresión de girar en torno a Júpiter. Sin embargo, la teoría de Copérnico era mucho más simple.) Al mismo tiempo, Johannes Kepler había modificado la teoría de Copérnico, sugiriendo que los planetas no se movían en círculos, sino en elipses (una elipse es un círculo alargado). Las predicciones se ajustaban ahora finalmente a las observaciones.

Desde el punto de vista de Kepler, las órbitas elípticas constituían meramente una hipótesis *ad hoc*, y, de hecho, una hipótesis bastante desagradable, ya que las elipses eran claramente menos perfectas que los círculos. Kepler, al descubrir casi por accidente que las órbitas elípticas se ajustaban bien a las observaciones, no pudo reconciliarlas con su idea de que los planetas estaban concebidos para girar alrededor del Sol atraídos por fuerzas magnéticas. Una explicación coherente sólo fue proporcionada mucho más tarde, en 1687, cuando sir Isaac Newton publicó su *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, probablemente la obra más importante publicada en las ciencias físicas en todos los tiempos. En ella, Newton no sólo presentó una teoría de cómo se mueven los cuerpos en el espacio y en el tiempo, sino que también desarrolló las complicadas matemáticas necesarias para analizar esos movimientos. Además, Newton postuló una ley de la gravitación universal, de acuerdo con la cual cada cuerpo en el universo era atraído por cualquier otro cuerpo con una fuerza que era tanto mayor cuanto más masivos fueran los cuerpos y cuanto más cerca estuvieran el uno del otro. Era esta misma fuerza la que hacía que los objetos cayeran al suelo. (La historia de que Newton fue inspirado por una manzana que cayó sobre su cabeza es casi seguro apócrifa. Todo lo que Newton mismo llegó a decir fue que la idea de la gravedad le vino cuando estaba sentado «en disposición contemplativa», de la que «únicamente le distrajo la caída de una manzana».) Newton pasó luego a mostrar que, de acuerdo con

su ley, la gravedad es la causa de que la Luna se mueva en una órbita elíptica alrededor de la Tierra, y de que la Tierra y los planetas sigan caminos elípticos alrededor del Sol.

El modelo copernicano se despojó de las esferas celestiales de Ptolomeo y, con ellas, de la idea de que el universo tiene una frontera natural. Ya que las «estrellas fijas» no parecían cambiar sus posiciones, aparte de una rotación a través del cielo causada por el giro de la Tierra sobre su eje, llegó a ser natural suponer que las estrellas fijas eran objetos como nuestro Sol, pero mucho más lejanos.

Newton comprendió que, de acuerdo con su teoría de la gravedad, las estrellas deberían atraerse unas a otras, de forma que no parecía posible que pudieran permanecer esencialmente en reposo. ¿No llegaría un determinado momento en el que todas ellas se aglutinarían? En 1691, en una carta a Richard Bentley, otro destacado pensador de su época, Newton argumentaba que esto verdaderamente sucedería si sólo hubiera un número finito de estrellas distribuidas en una región finita del espacio. Pero razonaba que si, por el contrario, hubiera un número infinito de estrellas, distribuidas más o menos uniformemente sobre un espacio infinito, ello no sucedería, porque no habría ningún punto central donde aglutinarse.

Este argumento es un ejemplo del tipo de dificultad que uno puede encontrar cuando se discute acerca del infinito. En un universo infinito, cada punto puede ser considerado como el centro, ya que todo punto tiene un número infinito de estrellas a cada lado. La aproximación correcta, que sólo fue descubierta mucho más tarde, es considerar primero una situación finita, en la que las estrellas tenderían a aglutinarse, y preguntarse después cómo cambia la situación cuando uno añade más estrellas uniformemente distribuidas fuera de la región considerada. De acuerdo con la ley de Newton, las estrellas extra no producirían, en general, ningún cambio sobre las estrellas originales, que por lo tanto continuarían aglutinándose con la misma rapi-

dez. Podemos añadir tantas estrellas como queramos, que a pesar de ello las estrellas originales seguirán juntándose indefinidamente. Esto nos asegura que es imposible tener un modelo estático e infinito del universo, en el que la gravedad sea siempre atractiva.

Un dato interesante sobre la corriente general del pensamiento anterior al siglo xx es que nadie hubiera sugerido que el universo se estuviera expandiendo o contrayendo. Era generalmente aceptado que el universo, o bien había existido por siempre en un estado inmóvil, o bien había sido creado, más o menos como lo observamos hoy, en un determinado tiempo pasado finito. En parte, esto puede deberse a la tendencia que tenemos las personas a creer en verdades eternas, tanto como al consuelo que nos proporciona la creencia de que, aunque podamos envejecer y morir, el universo permanece eterno e inmóvil.

Incluso aquellos que comprendieron que la teoría de la gravedad de Newton mostraba que el universo no podía ser estático, no pensaron en sugerir que podría estar expandiéndose. Por el contrario, intentaron modificar la teoría suponiendo que la fuerza gravitacional fuese repulsiva a distancias muy grandes. Ello no afectaba significativamente a sus predicciones sobre el movimiento de los planetas, pero permitía que una distribución infinita de estrellas pudiera permanecer en equilibrio, con las fuerzas atractivas entre estrellas cercanas equilibradas por las fuerzas repulsivas entre estrellas lejanas. Sin embargo, hoy en día creemos que tal equilibrio sería inestable: si las estrellas en alguna región se acercaran sólo ligeramente unas a otras, las fuerzas atractivas entre ellas se harían más fuertes y dominarían sobre las fuerzas repulsivas, de forma que las estrellas, una vez que empezaran a aglutinarse, lo seguirían haciendo por siempre. Por el contrario, si las estrellas empezaran a separarse un poco entre sí, las fuerzas repulsivas dominarían alejando indefinidamente a unas estrellas de otras.

Otra objeción a un universo estático infinito es normalmente atribuida al filósofo alemán Heinrich Olbers, quien escribió acerca de dicho modelo en 1823. En realidad, varios contemporáneos de Newton habían considerado ya el problema, y el artículo de Olbers no fue ni siquiera el primero en contener argumentos plausibles en contra del anterior modelo. Fue, sin embargo, el primero en ser ampliamente conocido. La dificultad a la que nos referíamos estriba en que, en un universo estático infinito, prácticamente cada línea de visión acabaría en la superficie de una estrella. Así, sería de esperar que todo el cielo fuera, incluso de noche, tan brillante como el Sol. El contraargumento de Olbers era que la luz de las estrellas lejanas estaría oscurecida por la absorción debida a la materia intermedia. Sin embargo, si eso sucediera, la materia intermedia se calentaría, con el tiempo, hasta que iluminara de forma tan brillante como las estrellas. La única manera de evitar la conclusión de que todo el cielo nocturno debería de ser tan brillante como la superficie del Sol sería suponer que las estrellas no han estado iluminando desde siempre, sino que se encendieron en un determinado instante pasado finito. En este caso, la materia absorbente podría no estar caliente todavía, o la luz de las estrellas distantes podría no habernos alcanzado aún. Y esto nos conduciría a la cuestión de qué podría haber causado el hecho de que las estrellas se hubieran encendido por primera vez.

El principio del universo había sido discutido, desde luego, mucho antes de esto. De acuerdo con distintas cosmologías primitivas y con la tradición judeo-cristiana-musulmana, el universo comenzó en cierto tiempo pasado finito, y no muy distante. Un argumento en favor de un origen tal fue la sensación de que era necesario tener una «Causa Primera» para explicar la existencia del universo. (Dentro del universo, uno siempre explica un acontecimiento como causado por algún otro acontecimiento anterior, pero la existencia del universo en sí, sólo podría ser explicada de esta manera si tuviera un origen.) Otro argumento

lo dio san Agustín en su libro *La ciudad de Dios*. Señalaba que la civilización está progresando y que podemos recordar quién realizó esta hazaña o desarrolló aquella técnica. Así, el hombre, y por lo tanto quizás también el universo, no podía haber existido desde mucho tiempo atrás. San Agustín, de acuerdo con el libro del Génesis, aceptaba una fecha de unos 5.000 años antes de Cristo para la creación del universo. (Es interesante comprobar que esta fecha no está muy lejos del final del último período glacial, sobre el 10.000 a.C., que es cuando los arqueólogos suponen que realmente empezó la civilización.)

Aristóteles, y la mayor parte del resto de los filósofos griegos, no era partidario, por el contrario, de la idea de la creación, porque sonaba demasiado a intervención divina. Ellos creían, por consiguiente, que la raza humana y el mundo que la rodea habían existido, y existirían, por siempre. Los antiguos ya habían considerado el argumento descrito arriba acerca del *progreso*, y lo habían resuelto diciendo que había habido inundaciones periódicas u otros desastres que repetidamente situaban a la raza humana en el principio de la civilización.

Las cuestiones de si el universo tiene un principio en el tiempo y de si está limitado en el espacio fueron posteriormente examinadas de forma extensiva por el filósofo Immanuel Kant en su monumental (y muy oscura) obra, *Crítica de la razón pura*, publicada en 1781. Él llamó a estas cuestiones antinomias (es decir, contradicciones) de la razón pura, porque le parecía que había argumentos igualmente convincentes para creer tanto en la tesis, que el universo tiene un principio, como en la antítesis, que el universo siempre había existido. Su argumento en favor de la tesis era que si el universo no hubiera tenido un principio, habría habido un período de tiempo infinito anterior a cualquier acontecimiento, lo que él consideraba absurdo. El argumento en pro de la antítesis era que si el universo hubiera tenido un principio, habría habido un período de tiempo infinito anterior a él, y de este modo, ¿por qué habría de empezar

el universo en un tiempo particular cualquiera? De hecho, sus razonamientos en favor de la tesis y de la antítesis son realmente el mismo argumento. Ambos están basados en la suposición implícita de que el tiempo continúa hacia atrás indefinidamente, tanto si el universo ha existido desde siempre como si no. Como veremos, el concepto de tiempo no tiene significado antes del comienzo del universo. Esto ya había sido señalado en primer lugar por san Agustín. Cuando se le preguntó: ¿Qué hacía Dios antes de que creara el universo?, Agustín no respondió: estaba preparando el infierno para aquellos que preguntaran tales cuestiones. En su lugar, dijo que el tiempo era una propiedad del universo que Dios había creado, y que el tiempo no existía con anterioridad al principio del universo.

Cuando la mayor parte de la gente creía en un universo esencialmente estático e inmóvil, la pregunta de si éste tenía, o no, un principio era realmente una cuestión de carácter metafísico o teológico. Se podían explicar igualmente bien todas las observaciones tanto con la teoría de que el universo siempre había existido, como con la teoría de que había sido puesto en funcionamiento en un determinado tiempo finito, de tal forma que pareciera como si hubiera existido desde siempre. Pero, en 1929, Edwin Hubble hizo la observación crucial de que, donde quiera que uno mire, las galaxias distantes se están alejando de nosotros. O en otras palabras, el universo se está expandiendo. Esto significa que en épocas anteriores los objetos deberían de haber estado más juntos entre sí. De hecho, parece ser que hubo un tiempo, hace unos diez o veinte mil millones de años, en que todos los objetos estaban en el mismo lugar exactamente, y en el que, por lo tanto, la densidad del universo era infinita. Fue dicho descubrimiento el que finalmente llevó la cuestión del principio del universo a los dominios de la ciencia.

Las observaciones de Hubble sugerían que hubo un tiempo, llamado el *big bang* [gran explosión o explosión primordial], en que el universo era infinitésimamente pequeño e infinitamente

denso. Bajo tales condiciones, todas las leyes de la ciencia, y, por tanto, toda capacidad de predicción del futuro, se desmoronarían. Si hubiera habido acontecimientos anteriores a este tiempo, no podrían afectar de ninguna manera a lo que ocurre en el presente. Su existencia podría ser ignorada, ya que ello no entrañaría consecuencias observables. Uno podría decir que el tiempo tiene su origen en el *big bang*, en el sentido de que los tiempos anteriores simplemente no estarían definidos. Es necesario señalar que este principio del tiempo es radicalmente diferente de aquellos previamente considerados. En un universo inmóvil, un principio del tiempo es algo que ha de ser impuesto por un ser externo al universo; no existe la necesidad física de un principio. Uno puede imaginarse que Dios creó el universo en, textualmente, cualquier instante de tiempo. Por el contrario, si el universo se está expandiendo, pueden existir poderosas razones físicas para que tenga que haber un principio. Uno aún se podría imaginar que Dios creó el universo en el instante del *big bang*, pero no tendría sentido suponer que el universo hubiese sido creado *antes* del *big bang*. ¡Un universo en expansión no excluye la existencia de un creador, pero sí establece límites sobre cuándo éste pudo haber llevado a cabo su misión!

Para poder analizar la naturaleza del universo, y poder discutir cuestiones tales como si ha habido un principio o si habrá un final, es necesario tener claro lo que es una teoría científica. Consideraremos aquí un punto de vista ingenuo, en el que una teoría es simplemente un modelo del universo, o de una parte de él, y un conjunto de reglas que relacionan las magnitudes del modelo con las observaciones que realizamos. Esto sólo existe en nuestras mentes, y no tiene ninguna otra realidad (cualquiera que sea lo que esto pueda significar). Una teoría es una buena teoría siempre que satisfaga dos requisitos: debe describir con precisión un amplio conjunto de observaciones sobre

la base de un modelo que contenga sólo unos pocos parámetros arbitrarios, y debe ser capaz de predecir positivamente los resultados de observaciones futuras. Por ejemplo, la teoría de Aristóteles de que todo estaba constituido por cuatro elementos, tierra, aire, fuego y agua, era lo suficientemente simple como para ser cualificada como tal, pero fallaba en que no realizaba ninguna predicción concreta. Por el contrario, la teoría de la gravedad de Newton estaba basada en un modelo incluso más simple, en el que los cuerpos se atraían entre sí con una fuerza proporcional a una cantidad llamada masa e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos, a pesar de lo cual era capaz de predecir el movimiento del Sol, la Luna y los planetas con un alto grado de precisión.

Cualquier teoría física es siempre provisional, en el sentido de que es sólo una hipótesis: nunca se puede probar. A pesar de que los resultados de los experimentos concuerden muchas veces con la teoría, nunca podremos estar seguros de que la próxima vez el resultado no vaya a contradecirla. Sin embargo, se puede rechazar una teoría en cuanto se encuentre una única observación que contradiga sus predicciones. Como ha subrayado el filósofo de la ciencia Karl Popper, una buena teoría está caracterizada por el hecho de predecir un gran número de resultados que en principio pueden ser refutados o invalidados por la observación. Cada vez que se comprueba que un nuevo experimento está de acuerdo con las predicciones, la teoría sobrevive y nuestra confianza en ella aumenta. Pero si por el contrario se realiza alguna vez una nueva observación que contradiga la teoría, tendremos que abandonarla o modificarla. O al menos esto es lo que se supone que debe suceder, aunque uno siempre puede cuestionar la competencia de la persona que realizó la observación.

En la práctica, lo que sucede es que se construye una nueva teoría que en realidad es una extensión de la teoría original. Por ejemplo, observaciones tremendamente precisas del planeta

Mercurio revelan una pequeña diferencia entre su movimiento y las predicciones de la teoría de la gravedad de Newton. La teoría de la relatividad general de Einstein predecía un movimiento de Mercurio ligeramente distinto del de la teoría de Newton. El hecho de que las predicciones de Einstein se ajustaran a las observaciones, mientras que las de Newton no lo hacían, fue una de las confirmaciones cruciales de la nueva teoría. Sin embargo, seguimos usando la teoría de Newton para todos los propósitos prácticos ya que las diferencias entre sus predicciones y las de la relatividad general son muy pequeñas en las situaciones que normalmente nos incumben. (¡La teoría de Newton también posee la gran ventaja de ser mucho más simple y manejable que la de Einstein!)

El objetivo final de la ciencia es el proporcionar una única teoría que describa correctamente todo el universo. Sin embargo, el método que la mayoría de los científicos siguen en realidad es el de separar el problema en dos partes. Primero, están las leyes que nos dicen cómo cambia el universo con el tiempo. (Si conocemos cómo es el universo en un instante dado, estas leyes físicas nos dirán cómo será el universo en cualquier otro instante posterior.) Segundo, está la cuestión del estado inicial del universo. Algunas personas creen que la ciencia se debería ocupar únicamente de la primera parte: consideran el tema de la situación inicial del universo como objeto de la metafísica o de la religión. Ellos argumentarían que Dios, al ser omnipotente, podría haber iniciado el universo de la manera que más le hubiera gustado. Puede ser que sí, pero en ese caso él también podría haberlo hecho evolucionar de un modo totalmente arbitrario. En cambio, parece ser que eligió hacerlo evolucionar de una manera muy regular siguiendo ciertas leyes. Resulta, así pues, igualmente razonable suponer que también hay leyes que gobiernan el estado inicial.

Es muy difícil construir una única teoría capaz de describir todo el universo. En vez de ello, nos vemos forzados, de mo-

mento, a dividir el problema en varias partes, inventando un cierto número de teorías parciales. Cada una de estas teorías parciales describe y predice una cierta clase restringida de observaciones, despreciando los efectos de otras cantidades, o representando éstas por simples conjuntos de números. Puede ocurrir que esta aproximación sea completamente errónea. Si todo en el universo depende de absolutamente todo el resto de él de una manera fundamental, podría resultar imposible acercarse a una solución completa investigando partes aisladas del problema. Sin embargo, este es ciertamente el modo en que hemos progresado en el pasado. El ejemplo clásico es de nuevo la teoría de la gravedad de Newton, la cual nos dice que la fuerza gravitacional entre dos cuerpos depende únicamente de un número asociado a cada cuerpo, su masa, siendo por lo demás independiente del tipo de sustancia que forma el cuerpo. Así, no se necesita tener una teoría de la estructura y constitución del Sol y los planetas para poder determinar sus órbitas.

Los científicos actuales describen el universo a través de dos teorías parciales fundamentales: la teoría de la relatividad general y la mecánica cuántica. Ellas constituyen el gran logro intelectual de la primera mitad de este siglo. La teoría de la relatividad general describe la fuerza de la gravedad y la estructura a gran escala del universo, es decir, la estructura a escalas que van desde sólo unos pocos kilómetros hasta un billón de billones (un 1 con veinticuatro ceros detrás) de kilómetros, el tamaño del universo observable. La mecánica cuántica, por el contrario, se ocupa de los fenómenos a escalas extremadamente pequeñas, tales como una billonésima de centímetro. Desafortunadamente, sin embargo, se sabe que estas dos teorías son inconsistentes entre sí: ambas no pueden ser correctas a la vez. Uno de los mayores esfuerzos de la física actual, y el tema principal de este libro, es la búsqueda de una nueva teoría que incorpore a las dos anteriores: una teoría cuántica de la gravedad. Aún no se dispone de tal teoría, y para ello todavía puede que-

dar un largo camino por recorrer, pero sí se conocen muchas de las propiedades que debe poseer. En capítulos posteriores veremos que ya se sabe relativamente bastante acerca de las predicciones que debe hacer una teoría cuántica de la gravedad.

Si se admite entonces que el universo no es arbitrario, sino que está gobernado por ciertas leyes bien definidas, habrá que combinar al final las teorías parciales en una teoría unificada completa que describirá todos los fenómenos del universo. Existe, no obstante, una paradoja fundamental en nuestra búsqueda de esta teoría unificada completa. Las ideas anteriormente perfiladas sobre las teorías científicas suponen que somos seres racionales, libres para observar el universo como nos plazca y para extraer deducciones lógicas de lo que veamos. En tal esquema parece razonable suponer que podríamos continuar progresando indefinidamente, acercándonos cada vez más a las leyes que gobiernan el universo. Pero si realmente existiera una teoría unificada completa, ésta también determinaría presumiblemente nuestras acciones. ¡Así la teoría misma determinaría el resultado de nuestra búsqueda de ella! ¿Y por qué razón debería determinar que llegáramos a las verdaderas conclusiones a partir de la evidencia que nos presenta? ¿Es que no podría determinar igualmente bien que extrajéramos conclusiones erróneas? ¿O incluso que no extrajéramos ninguna conclusión en absoluto?

La única respuesta que puedo dar a este problema se basa en el principio de la selección natural de Darwin. La idea estriba en que en cualquier población de organismos autorreproductores, habrá variaciones tanto en el material genético como en la educación de los diferentes individuos. Estas diferencias supondrán que algunos individuos sean más capaces que otros para extraer las conclusiones correctas acerca del mundo que nos rodea, y para actuar de acuerdo con ellas. Dichos individuos tendrán más posibilidades de sobrevivir y reproducirse, de forma que su esquema mental y de conducta acabará imponiéndose.

dose. En el pasado ha sido cierto que lo que llamamos inteligencia y descubrimiento científico han supuesto una ventaja en el aspecto de la supervivencia. No es totalmente evidente que esto tenga que seguir siendo así: nuestros descubrimientos científicos podrían destruirnos a todos perfectamente, e, incluso si no lo hacen, una teoría unificada completa no tiene por qué suponer ningún cambio en lo concerniente a nuestras posibilidades de supervivencia. Sin embargo, dado que el universo ha evolucionado de un modo regular, podríamos esperar que las capacidades de razonamiento que la selección natural nos ha dado sigan siendo válidas en nuestra búsqueda de una teoría unificada completa, y no nos conduzcan a conclusiones erróneas.

Dado que las teorías que ya poseemos son suficientes para realizar predicciones exactas de todos los fenómenos naturales, excepto de los más extremos, nuestra búsqueda de la teoría definitiva del universo parece difícil de justificar desde un punto de vista práctico. (Es interesante señalar, sin embargo, que argumentos similares podrían haberse usado en contra de la teoría de la relatividad y de la mecánica cuántica, las cuales nos han dado la energía nuclear y la revolución de la microelectrónica.) Así pues, el descubrimiento de una teoría unificada completa puede no ayudar a la supervivencia de nuestra especie. Puede incluso no afectar a nuestro modo de vida. Pero siempre, desde el origen de la civilización, la gente no se ha contentado con ver los acontecimientos como desconectados e inexplicables. Ha buscado incesantemente un conocimiento del orden subyacente del mundo. Hoy en día, aún seguimos anhelando saber por qué estamos aquí y de dónde venimos. El profundo deseo de conocimiento de la humanidad es justificación suficiente para continuar nuestra búsqueda. Y ésta no cesará hasta que poseamos una descripción completa del universo en el que vivimos.