

DRAKONTOS

Stephen Hawking  
y Leonard Mlodinow



# Brevísima historia del tiempo



CRÍTICA

BIBLIOTECA STEPHEN HAWKING

# Brevísima historia del tiempo

Stephen Hawking  
Leonard Mlodinow

Traducción castellana de David Jou

**CRÍTICA**  
BARCELONA

Primera edición: abril de 2005  
Primera edición en esta nueva presentación: enero de 2015

*Brevísima historia del tiempo*  
Stephen Hawking y Leonard Mlodinow

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal)

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

A BRIEFER HISTORY OF TIME  
W.W. Norton, Nueva York

© Stephen Hawking, 2005  
© Ilustraciones originales, The Book Laboratory™ Inc., 2005  
© de la traducción, David Jou, 2005

© Editorial Planeta S. A., 2015  
Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)  
Crítica es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

[editorial@ed-critica.es](mailto:editorial@ed-critica.es)  
[www.ed-critica.es](http://www.ed-critica.es)  
[www.espacioculturalyacademico.com](http://www.espacioculturalyacademico.com)

ISBN: 978-84-9892-794-8  
Depósito legal: B. 24.883 - 2014  
2015. Impreso y encuadernado en España por Huertas Industrias Gráficas S. A.

---

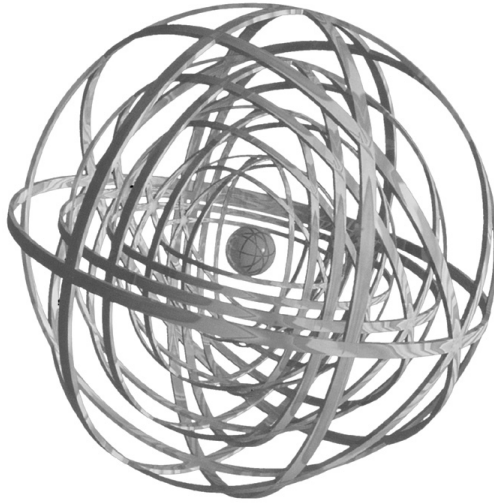
●

# Índice

Prefacio . . . . .	VII
1. Hablando del universo . . . . .	1
2. Nuestra imagen cambiante del universo . . . . .	7
3. La naturaleza de las teorías científicas . . . . .	17
4. El universo newtoniano . . . . .	25
5. Relatividad. . . . .	37
6. Espacio curvado . . . . .	53
7. El universo en expansión . . . . .	69
8. Big bang, agujeros negros y la evolución del uni- verso . . . . .	91
9. Gravedad cuántica . . . . .	113
10. Agujeros de gusano y viajes en el tiempo . . . . .	133
11. Las fuerzas de la naturaleza y la unificación de la física . . . . .	149
12. Conclusión . . . . .	175
Biografías	
Albert Einstein . . . . .	185
Galileo Galilei . . . . .	189
Isaac Newton . . . . .	193
Glosario . . . . .	195
Índice onomástico. . . . .	205

—— 1 ——

# Hablando del universo



Vivimos en un universo extraño y maravilloso. Se necesita una extraordinaria imaginación para apreciar su edad, tamaño, violencia, e incluso su belleza. Podría parecer que el lugar que ocupamos los humanos en este vasto cosmos es insignificante; quizá por ello tratamos de encontrarle un sentido y de ver cómo encajamos en él. Hace algunas décadas, un célebre científico (algunos dicen que se trataba de Bertrand Russell) dio una conferencia sobre astronomía. Describió cómo la tierra gira alrededor del sol y cómo éste, a su vez, gira alrededor de un inmenso conjunto de estrellas al que llamamos nuestra galaxia. Al final de la conferencia, una vieja señora se levantó del fondo de la sala y dijo: «Todo lo que nos ha contado son disparates. En realidad, el mundo es una placa plana que se sostiene sobre el caparazón de una tortuga gigante». El científico sonrió con suficiencia antes de replicar: «¿Y sobre qué se sostiene la tortuga?». «Se cree usted muy agudo, joven, muy agudo», dijo la anciana. «¡Pero hay tortugas hasta el fondo!»

La mayoría de nuestros contemporáneos consideraría ridículo imaginar el universo como una torre infinita de tortugas. Pero ¿por qué nos empeñamos en creer que sabemos más? Olvidemos un minuto lo que conocemos —o creemos conocer— del espacio y levantemos la vista hacia



el cielo nocturno. ¿Qué pensamos que son todos estos minúsculos puntos luminosos? ¿Son fuegos diminutos? Resulta difícil imaginar lo que son en realidad, ya que exceden inmensamente nuestra experiencia ordinaria. Si observamos con regularidad las estrellas, probablemente nos habremos fijado en una luz elusiva que sobrevuela el horizonte en el crepúsculo. Es un planeta, Mercurio, pero es muy diferente de la tierra. En él, un día dura dos tercios de lo que dura su año. Alcanza temperaturas que sobrepasan los 400 °C cuando lo ilumina el sol, y cae a -200 °C en la oscuridad de la noche. Aun así, por muy diferente que sea Mercurio de nuestro planeta, no se confunde con las estrellas típicas, con sus inmensos hornos que queman miles de millones de kilos de materia cada segundo, y cuyos núcleos se hallan a decenas de millones de grados.

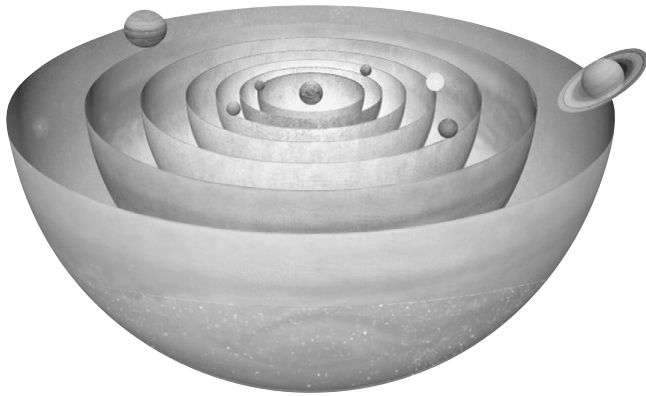
Otra cosa que nos cuesta imaginar es la distancia a que se encuentran realmente los planetas y las estrellas. Los antiguos chinos construyeron torres de piedra para poderlos contemplar más de cerca. Es natural pensar que las estrellas y los planetas se hallan más próximos de lo que realmente están; al fin y al cabo, en nuestra vida cotidiana no tenemos experiencia alguna de las enormes distancias espaciales. Dichas distancias son tan grandes que ni siquiera tiene sentido expresarlas en metros o en kilómetros, las unidades con que expresamos la mayoría de longitudes. En su lugar, utilizamos el año-luz, que es la distancia recorrida por la luz en un año. En un segundo, un haz de luz recorre 300.000 kilómetros, de manera que un año-luz es en efecto una distancia muy grande. La estrella más próxima a nuestro sol, denominada Proxima Centauri (o Alfa Centauri), se halla a unos cuatro años-luz. Está tan lejos que incluso con la nave espacial tripulada más veloz de que disponemos en la actualidad un viaje hasta ella duraría unos diez mil años.



Los antiguos se esforzaron mucho por entender el universo, pero entonces no disponían de nuestras matemáticas y nuestra ciencia. En la actualidad contamos con recursos poderosos: herramientas intelectuales como las matemáticas y el método científico, e instrumentos tecnológicos como ordenadores y telescopios. Con su ayuda, los científicos han acumulado un rico acervo de conocimientos sobre el espacio. Pero ¿qué sabemos en realidad del universo, y cómo lo conocemos? ¿De dónde viene el universo? ¿Adónde va? ¿Tuvo un inicio? y, si es así, ¿qué pasó antes de él? ¿Cuál es la naturaleza del tiempo? ¿Tendrá un final? ¿Podemos retroceder en el tiempo? Avances recientes de la física, que debemos en parte a las nuevas tecnologías, sugieren respuestas a algunas de estas antiquísimas preguntas. Algún día, estas respuestas nos parecerán tan obvias como que la tierra gire alrededor del sol..., o quizá tan ridículas como una torre de tortugas. Sólo el tiempo (sea lo que sea) lo dirá.



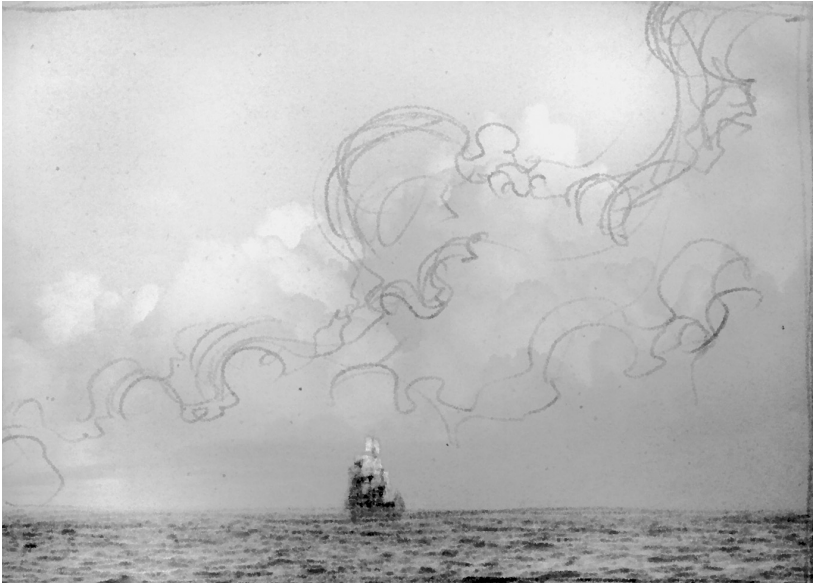
# Nuestra imagen cambiante del universo



Aunque incluso en épocas tan tardías como la de Cristóbal Colón era frecuente encontrar gente que creía que la tierra era plana (también hoy encontraríamos algunas personas que lo siguen pensando), podemos situar las raíces de la astronomía moderna en los antiguos griegos. Alrededor de 340 a.C., el filósofo griego Aristóteles escribió un libro titulado *De Caelo* («Sobre el cielo»), en el que daba buenos argumentos para creer que la tierra era una esfera y no un disco plano.

Uno de los argumentos estaba basado en los eclipses de luna. Aristóteles observó que estos eclipses se debían a que la tierra se interponía entre el sol y la luna. Cuando ello ocurría, la tierra proyectaba su sombra sobre la luna, causando así su eclipse. Aristóteles observó que la sombra de la tierra siempre era redonda. Esto es lo que cabría esperar si la tierra fuese una esfera, pero no si fuera un disco plano, en cuyo caso su sombra sólo sería redonda si el eclipse se produjera justo en el momento en que el sol estuviera debajo del centro del disco. En las demás ocasiones, la sombra sería alargada: tendría forma de elipse (una elipse es un círculo alargado).

Los griegos tenían otro argumento a favor de la esfericidad de la tierra. Si ésta fuera plana, un navío que se acercara desde el horizonte primero debería aparecer



*Un barco asoma por el horizonte*

como un punto sin caracteres y, a medida que se aproximara, permitiría que fuésemos observando cada vez más detalles, como las velas y el casco. Pero no es esto lo que ocurre. Cuando un barco aparece en el horizonte, lo primero que divisamos son sus velas, y sólo más tarde podemos observar el casco. El hecho de que sus mástiles, que se elevan muy por encima del casco, sean la primera parte del barco que asoma sobre el horizonte constituye una evidencia de que la tierra es una esfera.

Los griegos también escrutaron con atención el cielo nocturno. Ya en tiempos de Aristóteles, habían pasado siglos reuniendo información sobre cómo se desplazaban las lucecitas del cielo nocturno. Observaron que, aunque casi todos los millares de luces visibles en el cielo parecían moverse conjuntamente, cinco de ellas (sin contar la luna) no lo hacían así. A veces se apartaban de un camino regu-



lar este-oeste, retrocedían y después volvían a avanzar. Estas luces fueron denominadas planetas, término que en griego significaba «vagabundo». Los griegos sólo conocieron cinco planetas, que son los que podemos observar a simple vista: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. En la actualidad sabemos por qué sus trayectorias celestes son tan poco usuales: las estrellas casi no se mueven en comparación con nuestro sistema solar, pero los planetas, en cambio, giran alrededor del sol, de modo que su movimiento en el cielo nocturno es mucho más complejo que el de las estrellas distantes.

Aristóteles creía que la tierra estaba en reposo y que el sol, la luna, los planetas y las estrellas se movían en círculos a su alrededor. Y lo creía porque pensaba, por motivos más bien místicos, que la tierra estaba en el centro del universo y que el movimiento circular era el más perfecto. En el siglo II a.C. otro griego, Ptolomeo, convirtió esta idea en un modelo completo del firmamento. Ptolomeo sentía una gran pasión por sus estudios. «Cuando sigo a placer la apretada multitud de las estrellas en su camino circular», escribió, «mis pies dejan de tocar el suelo.»

En el modelo de Ptolomeo, ocho esferas rotantes rodeaban la tierra. Cada esfera era mayor que la anterior, como en un juego de muñecas rusas, y la tierra estaba en el centro de todas ellas. Lo que hubiera más allá de la última esfera no estaba claro, pero ciertamente no formaba parte del universo observable para los hombres. Así, la esfera más externa era considerada una especie de frontera, o de recipiente, del universo. Las estrellas ocupaban en ella posiciones fijas, de manera que, cuando la esfera giraba, las estrellas permanecían en las mismas posiciones relativas entre sí, y giraban conjuntamente, en grupos, a través del espacio, tal como lo observamos. Las esferas interiores transportaban los planetas, pero éstos, a dife-



rencia de lo que pasaba con las estrellas, no estaban fijados a sus propias esferas, sino que se movían respecto a ellas en pequeños círculos denominados epiciclos. Al girar las esferas planetarias, los planetas giraban a su vez respecto a ellas, de modo que sus trayectorias en relación a la tierra resultaban muy complicadas.

De esta manera, Ptolomeo consiguió explicar por qué las trayectorias observadas de los planetas son mucho más complicadas que unos simples círculos en el cielo.

El modelo de Ptolomeo proporcionó un sistema considerablemente preciso para predecir las posiciones de los objetos celestes en el firmamento. Pero para poderlo hacer correctamente, Ptolomeo tuvo que suponer que la trayectoria de la luna algunas veces se acercaba a la tierra el doble que otras, lo cual significaba que la luna ¡unas veces debería verse el doble de grande que otras! Ptolomeo admitió este fallo, a pesar de lo cual su modelo consiguió una amplia aceptación, aunque no completamente universal. Fue adoptado por la Iglesia católica como la imagen del universo compatible con las Escrituras, ya que ofrecía la ventaja de disponer, más allá de la esfera de las estrellas fijas, de vastos espacios para el cielo y el infierno.

Sin embargo, en 1514 un sacerdote polaco, Nicolás Copérnico, propuso otro modelo. (Al principio, por miedo a ser quemado por hereje por la Iglesia, Copérnico hizo circular su modelo anónimamente.) Copérnico tuvo la revolucionaria idea de que no todos los cuerpos celestes deben girar alrededor de la tierra. De hecho, su idea era que el sol estaba en reposo en el centro del sistema solar y que la tierra y los planetas se movían en órbitas circulares a su alrededor. El modelo de Copérnico, como el de Ptolomeo, funcionaba bien, pero no concordaba perfectamente con lo que se observaba. No obstante, como era mucho más simple que el de Ptolomeo, se podría haber esperado que



la gente lo adoptase. Y sin embargo, tuvo que transcurrir casi un siglo hasta que la idea fue tomada seriamente en consideración, cuando dos astrónomos, el alemán Johannes Kepler y el italiano Galileo Galilei, empezaron a defender públicamente la teoría copernicana.

En 1609, Galileo empezó a estudiar el cielo nocturno con un telescopio, que acababa de ser inventado. Al observar el planeta Júpiter, descubrió que estaba acompañado por varios satélites pequeños, o lunas, que giraban a su alrededor. Ello revelaba que no todo tenía que girar directamente alrededor de la tierra, a diferencia de lo que habían pensado Aristóteles y Ptolomeo. En la misma época, Kepler perfeccionó la teoría de Copérnico, sugiriendo que los planetas no se movían en círculos sino en elipses: con este cambio, las predicciones de la teoría pasaron a concordar con las observaciones. Estos acontecimientos asestaron un golpe mortal al modelo de Ptolomeo.

Aunque las órbitas elípticas mejoraban el modelo de Copérnico, para Kepler eran tan sólo una hipótesis provisional, ya que tenía ideas preconcebidas sobre la naturaleza, que no estaban basadas en observación alguna y, al igual que Aristóteles, consideraba que las elipses eran menos perfectas que los círculos. La idea de que los planetas se movieran a lo largo de estas trayectorias imperfectas le resultaba demasiado poco elegante para ser considerada la verdad definitiva. Otra cosa que le preocupaba era que no lograba conciliar las órbitas elípticas con su idea de que lo que hacía girar los planetas alrededor del sol eran fuerzas magnéticas. Aunque Kepler se equivocaba al considerar las fuerzas magnéticas como la causa de las órbitas de los planetas, se le debe reconocer el mérito de advertir que ha de existir una fuerza responsable del movimiento. La verdadera explicación de por qué los planetas giran alrededor del sol sólo se ofreció



mucho más tarde, en 1687, cuando sir Isaac Newton publicó su *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, probablemente la obra más importante jamás publicada en ciencias físicas.

En los *Principia*, Newton formuló una ley que establecía que todos los objetos que se hallan naturalmente en reposo permanecen en reposo a no ser que una fuerza actúe sobre ellos, y describió cómo los efectos de una fuerza hacen que un objeto se ponga en marcha o cambie su movimiento. Así, ¿por qué los planetas trazan elipses alrededor del sol? Newton dijo que ello se debía a una fuerza particular, y afirmó que era la misma que hace que los objetos caigan al suelo en lugar de permanecer en reposo en el aire cuando los soltamos. Denominó a esta fuerza «gravedad» (antes de Newton, la palabra «gravedad» significaba o bien un estado de ánimo serio o bien la cualidad de ser pesado). Newton también inventó las matemáticas que demostraban numéricamente cómo reaccionan los objetos cuando una fuerza, como la gravedad, actúa sobre ellos, y resolvió las ecuaciones resultantes. De esta manera, consiguió demostrar que debido a la gravedad del sol, la tierra y los otros planetas deben moverse en elipses, tal como Kepler había predicho. Newton afirmó que sus leyes se aplicaban a todos los cuerpos del universo, desde la caída de una manzana hasta los movimientos de las estrellas y los planetas. Por primera vez en la historia, alguien lograba explicar el movimiento de los planetas a partir de leyes que también determinan los movimientos sobre la tierra, lo que representó el comienzo de la física y la astronomía modernas.

Libres ya de las esferas de Ptolomeo, no había motivo alguno para suponer que el universo tenía una frontera natural (la esfera más exterior). Además, como las estrellas no parecían cambiar de posición, aparte de su giro



aparente en el cielo debido a la rotación de la tierra sobre su eje, pareció natural suponer que eran objetos como el sol pero mucho más lejanos. Con ello abandonamos no sólo la idea de que la tierra es el centro del universo, sino incluso la idea de que el sol, y quizás el sistema solar, fuera algo más que una característica ordinaria del universo.