

Alain Riazuelo

La increíble aventura de la Tierra

Traducción de Miguel Paredes Larrucea



Alianza editorial
El libro de bolsillo

Título original: *L'incroyable aventure de la Terre*

Primera edición: enero de 2026

Diseño de colección: Estrada Design

Diseño de cubierta: Manuel Estrada

Fotografía de Lucía Moreno y Miguel S. Moñita

Reservados todos los derechos. El contenido de esta obra está protegido por la Ley, que establece penas de prisión y/o multas, además de las correspondientes indemnizaciones por daños y perjuicios, para quienes reprodujeren, plagiaren, distribuyeren o comunicaren públicamente, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, o su transformación, interpretación o ejecución artística fijada en cualquier tipo de soporte o comunicada a través de cualquier medio, sin la preceptiva autorización.



© Éditions humenSciences / Humensis, 2023
© de la traducción: Miguel Paredes Larrucea, 2026
© Alianza Editorial, S. A., Madrid, 2026
Calle Valentín Beato, 21
28037 Madrid
www.alianzaeditorial.es

ISBN: 979-13-7009-122-4

Depósito legal: M-19856-2025

Printed in Spain

Índice

9	Introducción
11	1. Tan próximos y tan diferentes
37	2. La posibilidad de otros planetas
61	3. Antes del comienzo
101	4. El verdadero comienzo
141	5. La posibilidad de una Tierra
173	6. Acabados
197	7. La posibilidad de vida
219	8. ¿Y después?
241	Conclusión
245	Postfacio de Étienne Klein
251	Bibliografía
259	Índice onomástico
261	Agradecimientos

Introducción

La astronomía, por la dignidad de su objeto y por la perfección de sus teorías, es el más bello monumento de la mente humana, el título más noble de su inteligencia. Seducido por las ilusiones de los sentidos y del amor propio, el hombre se consideró durante mucho tiempo como el centro del movimiento de los astros, y su vano orgullo fue castigado por los temores que le inspiraron. Varios siglos de trabajos hicieron caer finalmente el velo que ocultaba a sus ojos el sistema del mundo. Se vio entonces en un planeta casi imperceptible en el sistema solar, cuya vasta extensión no es a su vez más que un punto insignificante en la inmensidad del espacio. Los sublimes resultados a que le condujo este descubrimiento bastan para consolarlo del rango que asigna a la Tierra, mostrándole su propia grandeza en la extrema pequeñez de la base que le sirvió para medir los cielos.

PIERRE-SIMON LAPLACE,
Exposition du système du monde,
6.^a edición, 1835

La historia de nuestro planeta es como una serie de Netflix, está compuesta de numerosos episodios. Aunque la única guionista es la madre naturaleza, los directores de los episodios —léase los científicos que aportaron la luz decisiva a las distintas partes de la historia del planeta— cambian casi cada vez. Un objeto tan complejo como la Tierra, formado en un entorno tan rico como el sistema solar, nunca podría haber sido comprendido por una sola persona. Todo lo contrario, el conocimiento de su historia es una aventura fundamentalmente colectiva, no la obra de un solo descubridor.

Una aventura que por otro lado está lejos de haber terminado. Porque si bien algunos episodios están perfectamente estudiados, otros lo están mucho menos. Peor aún, algunos parecen bien establecidos cuando en realidad no lo están. Los lectores me perdonarán, el terreno que voy a pisar es movedizo, incierto, y quizá dentro de diez o veinte años haya que reescribir por completo algunos pasajes del libro. Así es la ciencia: las certezas se van forjando progresivamente, y una mezcla muy humana de vanidad e ingenuidad nos lleva a veces a creer que el paradigma del momento es más sólido de lo que realmente es. Es uno de los azares de la marcha de la ciencia, que hace que a veces un resultado aparentemente sólido acabe siendo refutado por nuevas observaciones o nuevos argumentos. Ocurre rara vez, por supuesto, pero no cabe descartarlo. Así, pues, espero que al escribir este libro haya tenido la sabiduría y la lucidez suficientes para no ser más categórico de lo razonable.

1. Tan próximos y tan diferentes

El escenario

¿Dónde se encuentra la Tierra? ¿En el centro del mundo o en un rincón anónimo y cualquiera del universo? En Occidente, pensadores, religiosos y filósofos prefirieron durante mucho tiempo la primera respuesta, la de un universo restringido, cerrado, en el que la Tierra ocupaba el lugar central. Esta hipótesis de un capullo cósmico hecho solamente para nosotros los humanos, una perspectiva tan tranquilizadora, persistió durante mucho tiempo, tanto por razones narcisistas —¿qué podría ser más tranquilizador y gratificante que pensar que estamos en el centro del mundo?— como por razones de perspectiva: estemos donde estemos, estaremos siempre situados en el centro de algo, la región donde se posa nuestra mirada.

Desde nuestro punto de vista terrenal, la Luna, las estrellas y el Sol parecen girar a nuestro alrededor. Por la noche,

la observación del cielo estrellado indica la existencia de un movimiento global de rotación de los astros alrededor de la Tierra... a menos que sea la propia Tierra la que gira sobre sí misma. La primera impresión es la más natural: nosotros no «sentimos» que la Tierra gira, tenemos *realmente* la impresión de que está inmóvil. Pero la ciencia es el arte de cuestionar las primeras impresiones. En realidad ¿qué es lo más natural? ¿Que sea solo nuestro planeta el que gira sobre sí mismo en veinticuatro horas, o que sea todo el universo, con todo lo inmenso que pueda ser, el que lo haga?

Contrastar la inmovilidad de la Tierra con métodos puramente experimentales no es cosa fácil. Pero recurrir al sentido común puede ser de mucha ayuda. La Tierra tiene una circunferencia de unos 40 000 kilómetros, cifra conocida desde la Antigüedad¹. Esto significa que una persona situada en el ecuador recorrería cada día 40 000 kilómetros si la Tierra girara sobre sí misma en veinticuatro horas, lo que corresponde a una velocidad de casi 1700 kilómetros por hora.

¿Es posible que viajemos a tales velocidades sin darnos cuenta?, se preguntaron pensadores como Aristóteles en el siglo V antes de nuestra era. Imposible, dijeron, esgrimiendo argumentos inexactos, como el hecho de que si se lanza una flecha al aire, esta nunca volvería a caer en el lugar desde donde fue lanzada, ya que la Tierra, al haber girado mientras tanto, se habría deslizado por debajo de la flecha. El argumento era falso, como demostraron Galileo (1564-1642) y, poco antes que él, Giordano Bruno (1548-1600) a finales del siglo XVI. Pero otro razonamiento permite ver que la inmovilidad de

1. Véase Riazuelo, A., *Por qué la Tierra es redonda*, cap. 1, Madrid, Alianza Editorial, 2025.

la Tierra no hace más que desplazar y sobre todo agravar el problema de las velocidades que se hallan en juego. ¿La velocidad de la Tierra en el ecuador, de 1700 kilómetros por hora, os parece demasiado grande para ser verosímil? Pues la cosa sería mucho peor en el otro caso. La distancia entre la Tierra y la Luna es de 400 000 kilómetros. Ya en la antigua Grecia, Aristarco de Samos (c. 310-230 a. C.) demostró que el Sol estaba al menos veinte veces más lejos, a una distancia de ocho millones de kilómetros, una cifra muy inferior a la real, pero que mantendremos de momento. En cuanto a los demás planetas, algunos estaban mucho más lejos. En el siglo II de nuestra era, Claudio Ptolomeo (c. 100-168) calculó que Saturno, el planeta más lejano conocido, estaba al menos diez veces más lejos que el Sol. ¿Y más allá? Más allá estaban las estrellas, según Ptolomeo dos veces más lejos que Saturno. Decir que no es la Tierra y sus 6370 kilómetros de radio la que gira sobre sí misma en veinticuatro horas sino todo el universo, cuyo radio sería, con las cifras dadas anteriormente, tal vez de 150 millones de kilómetros, es afirmar implícitamente que este pequeño mundo recorrería una circunferencia de unos mil millones de kilómetros en veinticuatro horas, es decir, a una velocidad de más de 10 000 kilómetros por segundo. Ese cálculo fue realizado ya en la primera mitad del siglo XVI por el italiano Celio Calcagnini (1479-1541), quien haciendo números llegó a la conclusión de que la hipótesis vehementemente defendida por la Iglesia de una Tierra inmóvil implicaba para los cielos la existencia de una «velocidad inenarrable» y que seguramente se trataba de una de las ideas más absurdas jamás inventadas por los filósofos.

Queda eliminada por tanto la hipótesis de una Tierra estrictamente inmóvil: esta debe por fuerza girar sobre sí

misma en veinticuatro horas, lo que nos da la impresión de que es la bóveda estrellada la que gira al mismo ritmo. Pero no son solo las estrellas las que se desplazan. Están también la Luna, el Sol y los cinco planetas conocidos desde la Antigüedad: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. Los dos primeros tienen un movimiento bastante sencillo. En relación con la bóveda estrellada se desplazan hacia la izquierda cuando se observan desde el hemisferio norte, lentamente en el caso del Sol, más rápidamente en el de la Luna, y a un ritmo bastante regular. Si tomamos las estrellas como punto de referencia, la Luna completa una revolución alrededor de la Tierra en veintisiete días y ocho horas, y el Sol en un año. En una primera aproximación, ambos parecen estar animados de un movimiento circular alrededor de la Tierra, a una velocidad más o menos constante. En el caso de los planetas las cosas son más complicadas. Mercurio y Venus parecen acompañar al Sol, pero aceleran o ralentizan en relación con él, a veces adelantándose y a veces retrasándose. Marte, Júpiter y Saturno parecen menos ligados al Sol, pero también tienen un movimiento irregular, a veces acelerando, otras veces desacelerando, hasta el punto de moverse en ocasiones hacia la derecha en lugar de hacia la izquierda en relación con las estrellas. Los astrónomos griegos, amantes de la geometría y de la pureza de los círculos y esferas, pensaban que los movimientos eran una composición de varios movimientos circulares realizados a velocidades diferentes, algo así como un juego de mandalas.

En cuanto al principio no andaban equivocados, pero sí en su interpretación de la idea. De hecho es el Sol el que está en el centro y los planetas los que giran a su alrededor, cada uno en un movimiento aproximadamente circular.

Esta interpretación había sido propuesta en ocasiones en la antigua Grecia, pero había chocado con el prestigio y la influencia de Aristóteles, quien, pese a que sus argumentos eran erróneos, había convencido, a sus contemporáneos y a muchas de las generaciones siguientes, de que la Tierra estaba inmóvil en el centro del universo. No fue hasta dieciocho siglos después de Aristóteles cuando Nicolás Copérnico (1473-1543) propone la hipótesis de un mundo heliocéntrico, es decir, centrado en el Sol, pero semejante revolución tarda aún varios siglos más en ser aceptada debido a la doctrina de la Iglesia católica, que había hecho suya la visión aristotélica. Galileo fue condenado al silencio por la Iglesia por haber presentado argumentos muy convincentes —pero, por desgracia para él, no concluyentes— en favor de la hipótesis heliocéntrica, y a esa condena se unió el mundo protestante, que veía las opiniones del científico italiano con una hostilidad equiparable.

Además de sus argumentos, Galileo legó a sus contemporáneos un instrumento de observación, el telescopio refractor. Probablemente inventado por vidrieros holandeses uno o dos años antes, fue perfeccionado por el genial astrónomo, que fue el primero en utilizarlo para observar el cielo. Galileo comprendió así que el cielo es mucho más complejo de lo que se puede ver a simple vista. A partir de entonces se abre la posibilidad de un estudio profundo y racional del cielo. En pocas noches de observación Galileo descubre que no todo gira alrededor de la Tierra, ya que Júpiter tiene también (como mínimo) cuatro lunas: Ío, Europa, Ganímedes y Calisto. Apenas cincuenta años más tarde, Saturno se dota asimismo de un satélite, Titán, descubierto por Christiaan Huygens (1629-1695) en 1655. Por otro lado, la mejora de

los medios de observación permite también responder al reto que se había propuesto Aristarco de Samos de medir la distancia de la Tierra al Sol. Basándose en los trabajos de Johannes Kepler (1571-1630), los astrónomos, poco preocupados por las opiniones de la Iglesia católica, encontraron un método para determinar las distancias relativas entre los astros. Calcularon que Mercurio está un 60 % más cerca del Sol que la Tierra, mientras que Saturno está diez veces más lejos que esta. En resumen, disponen de una maqueta del sistema solar, pero desconocen la escala. Para hallarla basta con medir una de las distancias, y la primera que se midió fue la de la Tierra a Marte, por los franceses Jean-Dominique Cassini (1625-1712) y Jean Richer (1630-1696) en 1672. Determinando al mismo tiempo la posición de Marte con respecto a las estrellas en el momento de la oposición (el momento de su órbita en que los dos planetas están más próximos), comprobaron que esta posición no era la misma desde dos lugares de observación muy distantes, a saber, el observatorio de París para Cassini, y Cayena, en la Guayana Francesa, para Richer, lo cual, por el efecto de perspectiva, les permite determinar la distancia de Marte. A partir de ahí deducen la distancia de la Tierra al Sol, estimada entonces en 135 millones de kilómetros (en realidad son 150 millones), y amplían considerablemente la escala de distancias que había prevalecido desde Aristarco, porque el límite inferior de ocho millones de kilómetros para la distancia de la Tierra al Sol se transformó poco a poco en el valor real de esa distancia, o al menos en un buen orden de magnitud de la misma. Saturno, diez veces más alejado del Sol que la Tierra, está ahora a mil quinientos millones de kilómetros. Y más allá, no se sabe.

La coherencia del cielo se refuerza en 1687 con la publicación de las leyes de la gravitación universal por Isaac Newton (1643-1727). Al explicar que los objetos se atraen en proporción a su masa, Newton pone fin al debate entre geocentrismo y heliocentrismo. En el universo son los objetos más pequeños (o, para ser más exactos, los menos masivos) los que giran alrededor de los más grandes. Como el Sol es indiscutiblemente más grande y sin duda mucho más masivo que la Tierra, es él el que está en el centro. De hecho, la teoría de Newton explica todos los movimientos observados: el de los planetas alrededor del Sol, pero también el de los satélites alrededor de los planetas. En particular, Newton explica las leyes empíricas encontradas por Kepler para describir los movimientos de los astros, a saber, que tienen lugar en un plano, que las órbitas son elipses —es decir, círculos más o menos achatados—, que estas elipses se recorren a velocidades variables —cuanto más cerca está el planeta del Sol, más rápido se desplaza— y, por último, que existe una ley que relaciona el tamaño de la órbita y el tiempo necesario para recorrerla. Así pues, ya no cabe duda de que el Sol está inmóvil en el centro y que los planetas giran a su alrededor; pero la prueba directa del movimiento de la Tierra se hace todavía esperar. La prueba llega en 1729 con las observaciones del astrónomo inglés James Bradley (1693-1762). Bradley se da cuenta de que, al igual que la dirección aparente de la lluvia depende de la velocidad del coche en el que se viaja², la luz de las estrellas debe cambiar ligeramente de dirección

2. En la época de Bradley evidentemente no había automóviles, pero el fenómeno se produce de manera idéntica con el viento, cuya dirección aparente cambia cuando el velero cambia de rumbo o de velocidad.

a lo largo del año a medida que la Tierra va recorriendo su órbita alrededor del Sol. Este fenómeno sorprende al propio Bradley cuando lo analiza antes de observarlo, hasta el punto de que lo califica de «aberrante»... y le da el nombre de «aberración de la luz» cuando finalmente lo observa. Por aberrante que sea, esta observación invalida definitivamente el principio de una Tierra inmóvil, que ahora no es más que una arcaica fantasía contradicha por los hechos. A la Iglesia no le queda otra opción: levanta la prohibición sobre los trabajos de Galileo, aunque lo hace de mala gana, porque exige que el movimiento de la Tierra sea calificado de «supuesto»... ¡a pesar de que acaba de demostrarse de manera indiscutible! Para el mundo científico, este giro llega demasiado tarde. Es un «no evento», porque los argumentos a favor del geocentrismo son insostenibles desde hace tiempo.

En 1781, el cielo se amplía considerablemente con el descubrimiento de Urano por el astrónomo inglés William Herschel (1738-1822). A casi el doble de distancia que Saturno, este nuevo planeta orbita a unos tres mil millones de kilómetros del Sol. Herschel no es ni mucho menos el primero en observar Urano. Situado en el límite de la visibilidad sin instrumentos, el planeta ha sido visto sin duda por muchos curiosos observadores del cielo desde la prehistoria. Pero hasta entonces nadie se ha percatado de que este minúsculo punto luminoso se mueve lentamente. En astronomía, como en muchas otras ciencias, no siempre gana el primero en observar un fenómeno, sino el primero en comprender su interés. Urano se dota muy pronto de varios satélites, Titania y Oberón, descubiertos en 1787 por el propio Herschel. Lo mismo había ocurrido con Saturno, en torno al cual Titán no había sido mucho tiempo su única luna: Jápeto (o Japeto) y

Rea habían sido descubiertos por Cassini en 1673, seguidos de Tetis y Dione por el mismo Cassini trece años más tarde. El descubrimiento de Urano ofrece una nueva oportunidad de poner a prueba el poder predictivo de las leyes de la gravitación y, ¡sorpresa!, Urano no se mueve exactamente como estaba previsto. ¿Se trata de un fallo en el edificio erigido por Isaac Newton un siglo atrás? En absoluto. Los astrónomos ya saben que los planetas influyen ligeramente en el movimiento de los demás. Siguen siempre muy de cerca la trayectoria que tendrían si estuvieran solos alrededor del Sol, pero se desvían ligeramente de ella debido a la presencia de sus compañeros. De hecho, este efecto ya se tuvo en cuenta en la década de 1750, cuando los astrónomos predijeron con éxito el regreso del cometa Halley, observado en numerosas ocasiones desde la Antigüedad. El cometa debe su nombre a Edmund Halley (1656-1742), que fue el primero en reconstruir la trayectoria de un cometa que observó en 1682, comprendiendo que probablemente era el mismo que el observado en 1607 por Kepler y en 1531 por varios astrónomos. Predecir la fecha y la dirección exactas de su siguiente paso en 1759 significaba tener en cuenta la influencia de Júpiter en su trayectoria durante su paso anterior. Lo aplicable al cometa Halley se aplicaba sin duda a Urano, pero ninguno de los planetas conocidos bastaba para explicar todas las anomalías de su movimiento.

Dos astrónomos, el francés Urbain Le Verrier (1811-1877) y el inglés John Couch Adams (1819-1892), se preguntan entonces cuáles podrían ser las características de un nuevo planeta, desconocido por estar demasiado lejos para haber sido detectado, pero capaz de explicar la anomalía en el movimiento de Urano. Para ello es indispensable hacer

algunas hipótesis. Nuestros dos hombres suponen entonces correctamente (y con un poco de suerte) que el planeta desconocido tiene una masa comparable a la de Urano y que se encuentra a una distancia del Sol aproximadamente dos veces superior a la de Urano, lo cual es inexacto pero no tiene graves consecuencias. El método utilizado por Le Verrier es más eficaz y preciso que el de Adams y predice la posición del planeta con suficiente exactitud como para que su colega Johann Gottfried Galle (1812-1910), del observatorio de Berlín, lo localice en menos de una noche de observación. El nuevo planeta, de color azul oscuro, recibe el nombre de Neptuno por iniciativa de Le Verrier, el hombre que lo descubrió «con la punta de su pluma», como lo resumió François Arago (1786-1853), entonces director del observatorio de París. Bastan luego diecinueve días para que Neptuno se adorne con su primer satélite, Tritón, descubierto por el inglés William Lassell (1799-1880). En los años siguientes, él mismo descubre otros tres satélites: Hiperión, alrededor de Saturno, en 1848, y Ariel y Umbriel, alrededor de Urano, tres años más tarde.

Mientras tanto, el cielo se enriquece con una nueva categoría de objetos. La noche del 1 de enero de 1801, el astrónomo italiano Giuseppe Piazzi (1746-1826) inaugura el siglo descubriendo lo que cree que es un cometa, situado en algún lugar entre Marte y Júpiter. Pero el estudio de sus propiedades demuestra que su órbita, a diferencia de la de los cometas, es relativamente circular, y que no tiene la cola tan característica de esos astros. Deduce por tanto que acaba de descubrir un nuevo planeta, al que llama Ceres, en homenaje a la diosa romana protectora de su Sicilia natal. Sorprendentemente, el nuevo planeta no tarda en encontrar

un compañero: observado durante seis semanas seguidas por Piazzzi, Ceres acaba pasando por detrás del Sol y haciéndose invisible durante un tiempo. Pero el periodo de observación es lo suficientemente largo como para que el matemático alemán Carl Friedrich Gauss (1777-1855) pueda predecir, mediante técnicas desarrolladas para la ocasión, dónde encontrarlo unos meses más tarde. Y es precisamente mientras intenta volver a encontrar Ceres cuando el astrónomo alemán Heinrich Olbers (1758-1840) hace en 1802 el descubrimiento fortuito de otro objeto cerca de la dirección donde debía estar Ceres. ¿Otro planeta, quizás? Se le bautiza con el nombre de Palas. Le sigue en 1804 Juno, descubierto por Karl Ludwig Harding (1765-1834), y luego Vesta, descubierto también por Olbers en 1807.

En cuatro años, el sistema solar ha incorporado cuatro nuevos planetas. Pero planetas verdaderamente extraños. Situados todos ellos entre Marte y Júpiter, deberían haber sido fácilmente visibles a simple vista, pero no es así: solo Vesta lo es, pero de manera excepcional, y en el límite de visibilidad. Además, sus distancias al Sol son muy similares, del orden de 400 millones de kilómetros, mientras que las órbitas de los planetas están separadas por enormes distancias. Por otro lado, no están situados en el mismo plano y apenas pasan tiempo en la región del cielo (llamada eclíptica) por donde circulan de ordinario los planetas. Todo ello lleva a los astrónomos a sugerir, con Herschel a la cabeza, que lo descubierto no son cuatro nuevos planetas —lo que en 1807 elevaba el total a once, incluidos los siete conocidos hasta entonces—, sino de cuatro representantes de una nueva categoría de objetos que él propone denominar «asteroides».

La propuesta es recibida inicialmente con reticencias. Después de todo, ¿por qué no iba a haber cuatro planetas, por pequeños que fueran, en un corto intervalo de distancia del Sol? Pero las décadas de 1840 y 1850 cambian la situación, esta vez de forma definitiva. En 1845 se descubre un quinto asteroide —¿o un duodécimo planeta?— que recibe el nombre de Astrea. Luego llegan Hebe, Iris y Flora en 1847. Y Metis en 1848, así como Hígía al año siguiente. En 1850 se descubren tres nuevos objetos: Parténope, Victoria y Egeria. Dos al año siguiente (Irene y Eunomia) y nada menos que ocho en 1852, con Psique, Tetis, Melpómene, Fortuna, Massalia, Lutecia, Calíope y Talía. En menos de una década, el número de objetos situados entre Marte y Júpiter pasa de cuatro a veintitrés, cifra que sigue creciendo a un ritmo vertiginoso. El centésimo objeto de la lista se descubre en 1868, y el bicentésimo en 1879. Menos de un cuarto de siglo después, la cifra alcanza 500 (en 1903), y 1000 veinte años más tarde. Definitivamente, entre Marte y Júpiter hay algo más que planetas.

El estudio de los planetas, la estimación de su tamaño (porque podemos ver sus discos) y la dinámica de sus satélites permiten determinar su masa. El sistema solar tiene cuatro planetas pequeños, conocidos como «rocosos» o «telúricos», que son también los más cercanos al Sol: Mercurio, Venus, la Tierra y Marte. Los otros cuatro, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, conocidos como gigantes gaseosos, están mucho más lejos. Todos ellos tienen satélites —un total de dieciséis—, mientras que solo uno de los planetas más pequeños tiene uno: la Tierra. La singularidad de la Tierra dura hasta 1877, cuando el astrónomo norteamericano Asaph Hall (1829-1907) descubre en rápida sucesión

dos minúsculos satélites alrededor de Marte: Deimos el 12 de agosto y Fobos seis días después. Son, con mucho, los satélites más pequeños conocidos, casi quince veces más pequeños que Hiperión.

La tecnología se torna decisiva

Hasta ese momento, nadie sabe nada de todos esos satélites. Demasiado pequeños y demasiado lejanos, aparecen como puntos que no revelan nada de sus misterios. A excepción, claro está, de la Luna, que desde Galileo los astrónomos observan y cartografían desde todos los ángulos. Bueno, no desde todos, porque aunque la Luna gira alrededor de la Tierra, también gira sobre sí misma y lo hace al mismo ritmo, de modo que siempre vemos la misma cara.

¿Cómo es posible que estos dos movimientos, de rotación y de revolución, estén tan perfectamente sincronizados? ¡Misterio! Pero en el momento del descubrimiento de Júpiter por Cassini en 1673 se desliza un elemento inesperado en la discusión. Este satélite de Saturno, bastante alejado del planeta, solo es visible la mitad del tiempo, es decir, cuando, visto desde la Tierra, se encuentra a la derecha del planeta. El propio Cassini se encarga de interpretar el fenómeno. Tal vez Júpiter, al igual que la Luna, haya sincronizado sus periodos de rotación y revolución. Si, por una razón u otra, su superficie es de brillo variable, será más o menos visible en función de su orientación con respecto a la Tierra o, lo que es lo mismo, de su posición con respecto a Saturno. El hecho de que solo sea visible la mitad del tiempo significa que Júpiter tiene una cara mucho más brillante que la otra.

Aunque el origen de este contraste entre dos hemisferios no se conocerá durante siglos, Cassini inaugura sin saberlo un elemento decisivo en astronomía: la observación directa, incluso con la ayuda de un instrumento, dista mucho por sí sola de proporcionar toda la información sobre los objetos estudiados. Otras técnicas —en este caso, el estudio de las variaciones de brillo, que más tarde se denominaría fotometría— son al menos igual de valiosas, sobre todo cuando se trata de objetos pequeños o lejanos.

Los últimos años del siglo XIX son testigos de grandes progresos en el campo de la observación. Está, naturalmente, la fotografía, que lentamente se impone en el mundo de la astronomía. La fotografía compensa la principal limitación del ojo humano: la imagen que este forma en el cerebro corresponde a la luz recogida por la retina durante una décima de segundo. Cualquier objeto que emita muy poca luz en ese corto espacio de tiempo está condenado a permanecer invisible, limitación que persiste aun cuando nuestros ojos se complementen con un instrumento, ya sea un telescopio refractor o un telescopio reflector. En efecto, estos instrumentos ayudan al ojo a recoger más luz, pero solo durante una décima de segundo. Con tiempos de exposición arbitrariamente largos, la fotografía nos permite ver objetos mucho más tenues. En cuanto al estudio del sistema solar, el punto de inflexión se produce en la década de 1890. En 1892, el norteamericano Edward Emerson Barnard (1857-1923) es el último en descubrir un satélite mediante observación visual. Se trata de Amaltea, el primer satélite de Júpiter descubierto desde Galileo. Mucho más pequeño que sus cuatro compañeros descubiertos a principios del siglo XVII, está además mucho más cerca del planeta, lo que dificulta

aún más su observación. Seis años más tarde se descubre fotográficamente Febe, esta vez un satélite muy alejado de Saturno. Posteriormente será observado sin ayuda de fotografías, pero solamente una vez conocida su posición. Para el descubrimiento, las imágenes son ahora indispensables.

Incluso más que la fotografía es la espectroscopia la que lleva la astronomía a una nueva dimensión. Hasta entonces la astronomía había sido una ciencia puramente observacional. Se cartografiaban, clasificaban y nombraban los astros. Pero rara vez se hablaba de su verdadera naturaleza ni de los procesos físicos que se producen en ellos. Así, el filósofo francés Auguste Comte (1798-1857) afirma con cierta presunción en 1835 en su *Cours de philosophie positive*: «Por lo que respecta a las estrellas, nunca podremos estudiar por ningún medio su composición química ni su estructura mineralógica, y mucho menos la naturaleza de los cuerpos organizados que viven en su superficie». Para él, las estrellas están demasiado lejos para pretender que se puedan traer muestras de allí, y por tanto es imposible saber nada de ellas, utilizando un razonamiento que parece tan simple como implacable. Pero solo en apariencia. En 1814, el físico alemán Joseph von Fraunhofer (1787-1826) descubre las lagunas que hay en la luz solar. La luz del Sol puede descomponerse en sus colores elementales —es lo que ocurre en el arco iris de forma natural o lo que puede hacer un instrumento diseñado específicamente para ello, con mucha más precisión—, y cuando se analiza esta luz color a color se detectan ausencias. Al principio, estas lagunas no son más que una de tantas curiosidades. Pero en 1859, los alemanes Gustav Kirchhoff (1824-1887) y Robert Bunsen (1811-1899) observan que ciertas sustancias muy terrestres