



MONTSERRAT
VILLAR MARTÍN

MIRAR
los CIELOS

UNA HISTORIA DEL COSMOS
A TRAVÉS DE LA CIENCIA
Y EL ARTE

PAIDÓS

MONTSERRAT VILLAR MARTÍN

MIRAR LOS CIELOS

UNA HISTORIA DEL COSMOS

A TRAVÉS DE LA CIENCIA Y EL ARTE

PAIDÓS Contextos

1.^a edición, septiembre de 2025

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 seguir desempeñando su labor.

Dirigete a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesitas fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra. Puedes 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.

© Montserrat Villar Martín, 2025

© de las imágenes del interior, © Album, © Metropolitan Museum of Art, NY / Album, © DETLEV VAN RAVENSWAAY/SCIENCE PHOTO LIBRARY / Album, © Alamy / Album, © Prisma / Album, © quintlox / Album, © Heritage Art / Album, © De Agostini Picture Library / Album, © British Library / Album, © quintlox / Album, © Universal Images Group / Pictures From History / Album, © Album, © G. Dagli Orti / De Agostini / Album, © Oronoz / Album, © Werner Forman / akg-images / Album, © Fine Art Images / Album, © KHARBINE / Musée Verne de Nantes / Album, © Collection Dupondt / akg-images / Album, © Granger, NYC / Album, © SCIENCE PHOTO LIBRARY / Library of Congress / Album, © Universal History Archive / Universal Images Group / Album, © Granger, NYC / Album, © Jean Vigne / KHARBINE-TAPABOR / Album

© de todas las ediciones en castellano,

Editorial Planeta, S. A., 2025

Paidós es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

Avda. Diagonal, 662-664

08034 Barcelona, España

www.paidos.com

www.planetadelibros.com

Diseño del interior y maquetación: Eva Mutter

ISBN: 978-84-493-4443-5

Depósito legal: B. 12.434-2025

Impresión y encuadernación en Macrolibros

Impreso en España – *Printed in Spain*



SUMARIO

Prólogo	9
Capítulo 1. La tiranía del círculo	13
Capítulo 2. Mitos en las estrellas	49
Capítulo 3. Oráculo celeste	83
Capítulo 4. El misterio de la luna	115
Capítulo 5. Mensajeros del cielo	149
Capítulo 6. Medir el tiempo	183
Capítulo 7. Vida en otros mundos	223
Epílogo	261
Agradecimientos	263
Bibliografía seleccionada	265

En la localidad salmantina de Ciudad Rodrigo podemos caminar por el sistema solar. Allí las dimensiones enormes en el espacio parecen cobrar más sentido, ya que se han respetado las distancias y los tamaños relativos reales. Tras un paseo tranquilo de ocho minutos cubriremos la distancia entre el Sol y la Tierra, es el mismo tiempo que tarda la luz en llegar desde la estrella hasta nuestro planeta tras 150 millones de kilómetros de recorrido. En este sistema solar tan especial, el Sol es una gran esfera de casi cinco metros de diámetro cuya superficie está formada por cerca de tres mil pequeñas manos de latón. Durante el día se producen bonitos reflejos que cambian con el transcurso de las horas. Se encuentra situado en la entrada sur del parque de la Glorieta, al lado de la Glorieta de El Árbol Gordo. Los planetas y sus lunas principales (quince en total) están distribuidas por la ciudad y varias localidades cercanas. Son representaciones 3D que parecen flotar en unos monolitos formados por una base de acero corten coronada por un cubo de cristal blindado. Un sistema de iluminación interno permite disfrutar de la instalación también por la noche. Avanzando por la rúa del Sol, la calle Caridad y la cuesta de Santiago, dentro del recinto amurallado de Ciudad Rodrigo, veremos los planetas rocosos, Mercurio, Venus y la Tierra, tan grande como una pelota de golf acompañada de la luna. En el puente Mayor hallaremos Marte, triste víctima de unos vándalos que en septiembre de 2023 rociaron la instalación con espray verde. Los planetas gigantes gaseosos, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno hay que buscarlos en diferentes pueblos de la comarca, Ivanrey, Sanjuanejo y Carpio de Azaba, hasta llegar a la entrada del Centro de Interpretación del yacimiento arqueológico de Siega Verde, declarado Patrimonio Mundial

por la UNESCO, donde se halla Neptuno con su luna Tritón. Finalmente, a veinticinco kilómetros del Sol, en la localidad de Fuentes de Oñoro y a tan solo unos metros de la frontera con Portugal, flota el diminuto Plutón, que en 2006 pasó a ser clasificado como «planeta enano» por la Unión Astronómica Internacional y dejó de ser considerado un planeta como los demás. El sistema solar de Ciudad Rodrigo se inauguró en 2021. Esta interesante iniciativa fue impulsada por la Agrupación Astronómica Astróbriga de dicho municipio. En marzo de 2023 se incorporó una maqueta de la sonda Voyager 1, que se ubicó en la plaza de la Merced de Salamanca, entre las facultades de Matemáticas y Ciencias, frente a la biblioteca de la universidad Abraham Zacut (1452-1514/1515), gran matemático, astrónomo e historiador salmantino.

EL MISTERIO DE LOS ASTROS ERRANTES

De los astros visibles sin telescopio, Mercurio es, como en Ciudad Rodrigo, el planeta más cercano al Sol. Le siguen en distancia Venus, la Tierra acompañada por la Luna, Marte, Júpiter y Saturno. Mucho más allá están las estrellas. ¿Seríamos capaces de averiguar esto tan solo a partir de lo que vemos en la bóveda celeste? Detengámonos unos minutos para imaginar qué vieron nuestros antepasados a ojo desnudo en los cielos. Nos servirá para repasar algunos conceptos y a continuación entender cómo utilizaron aquella información tan rica para describir la estructura del universo; también nos ayudará a comprender mucho de lo expuesto en los demás capítulos de este libro. Cuando miramos al firmamento, nos da la impresión de que todas las estrellas están a la misma distancia y fijas en una superficie semiesférica, como una bóveda sobre nuestras cabezas. A medida que pasan las horas nos parece que gira como un bloque de este a oeste en torno a la Tierra, que permanece inmóvil, y un eje que cruza un

punto cercano a la estrella polar en la constelación de la Osa Menor. Es el polo norte celeste. Al cabo de unas veinticuatro horas, el cielo ha descrito una vuelta completa y han transcurrido el día y la noche. Vemos estrellas de distintos brillos y colores, que mantienen siempre la misma posición unas respecto a las otras. Las llamaremos, como en el pasado, «estrellas fijas», porque parece que no se mueven. Sí lo hacen, pero están tan lejos que no es fácil darse cuenta a lo largo de una vida humana. La permanencia de sus patrones nos llevó a agruparlas en constelaciones hace milenios. Con el paso de las horas, unas estrellas desaparecerán bajo el horizonte por el oeste y otras aparecerán por el este, en el lado opuesto. Al transcurrir los meses, desde la primavera hasta el invierno, veremos otras constelaciones, hasta que al cabo de un año se repetirá el mismo patrón en el cielo. En un momento dado, una persona en el hemisferio sur y otra en el norte verán constelaciones distintas. **Hay siete astros, los errantes, que se comportan de manera peculiar, ya que su posición se desplaza respecto a las estrellas fijas: la Luna, el Sol, que de vez en cuando desaparecen eclipsados, y los planetas visibles a simple vista: Mercurio (aunque no es fácil de observar), Venus, Marte, Júpiter y Saturno.**

Si cada día anotamos exactamente el lugar por el que se pone el Sol con relación a las estrellas, nos daremos cuenta de que va avanzando casi un grado diario hacia el este. Apreciaremos que mes tras mes va desplazándose por las constelaciones, completando al cabo de un año una circunferencia de 360 grados. Este recorrido aparente anual de nuestra estrella visto desde la Tierra traza un círculo sobre la esfera celeste llamado «eclíptica», que atraviesa las doce constelaciones del Zodíaco, además de Ofiuco: Aries, Tauro, Géminis, Cáncer, Leo, Virgo, Libra, Escorpio, Sagitario, Capricornio, Acuario y Piscis. Como difieren mucho en extensión, el Sol pasa tiempos muy diferentes en cada una; así, mientras que en Virgo está unos cuarenta y cinco días, en Escorpio apenas una semana. Como esto es poco práctico, dividimos la banda zodiacal en doce partes de treinta grados cada una, de manera que el Sol permanece durante unos treinta días en cada una de ellas. Quedan así definidos los doce signos del Zodíaco que, a pe-

sar de que comparten el mismo nombre, difieren de las constelaciones por definición.

La banda zodiacal se extiende unos ocho grados a cada lado de la eclíptica y en ella están siempre los siete astros errantes. Es decir, el Sol, la Luna y los planetas no se mueven por toda la bóveda celeste y de cualquier manera. El motivo es que los planetas del sistema solar (incluido el nuestro, acompañado de la Luna) siguen órbitas en torno al Sol contenidas de manera muy aproximada en el plano de la eclíptica, y por ello siempre aparecen proyectados sobre el cielo en sus cercanías. De ahí que nos resulte familiar que alguien diga que el Sol está en Aries, la Luna en Capricornio, Júpiter en Tauro o Marte en Géminis, pero nunca oiremos que se hallan en la Osa Mayor, Casiopea o Hércules.

Como ya lo hicieron los griegos en la Antigüedad clásica, percibiremos también que el plano de la eclíptica está inclinado respecto al del ecuador terrestre 23,5 grados. Dicha inclinación y la órbita de la Tierra en torno al Sol son responsables de las estaciones. Los puntos de intersección de estos dos planos son los equinoccios, que son dos y se denominan punto Aries (o vernal) y punto Libra (o hie-mal). Cuando el Sol se halla en uno de ellos, está doce horas por encima y doce horas por debajo del horizonte, y el día y la noche tienen la misma duración en cualquier lugar de la Tierra. Si comparamos con datos de épocas anteriores, notaremos que nuestra estrella llega al equinoccio un poco antes cada año: debido a la variación que experimenta la dirección del eje de rotación terrestre (como el bamboleo de una peonza), las coordenadas de las estrellas varían con el transcurso del tiempo y, como consecuencia, la equivalencia nocturna y diurna de los equinoccios se adelanta ligeramente cada año. Este fenómeno, denominado «precesión de los equinoccios», es el responsable de que el punto vernal se desplace un grado cada setenta y dos años, y que en la actualidad se encuentre en Piscis, mientras que en el siglo II a.e.c., cuando el fenómeno fue explicado por primera vez, estaba en Aries (de ahí el nombre de punto Aries).

Nos damos también cuenta de que los planetas en general se desplazan un poco cada noche respecto a las estrellas, de manera lenta y sin sobresaltos, y de tanto en tanto hacen algo peculiar: dibujan bucles. Avanzan hacia el este, se paran, retroceden hacia el oeste, se paran de nuevo, vuelven a avanzar... en definitiva, retrogradan. Mercurio lo hace durante unos 21 días cada 116; Venus, durante 41 cada 584, Marte, 72 cada 780, Júpiter, 121 cada 399, y Saturno, 138 días cada 378. Este movimiento retrógrado es el responsable de que a veces veamos Venus a un lado u otro del Sol, como una estrella matutina o vespertina, lo que provocó que en el pasado se creyera que eran dos astros distintos. Durante este baile cósmico, los planetas, especialmente Marte y Venus, cambian no solo de velocidad aparente, sino también de brillo.

¿Qué lío, verdad? ¿Cómo transformar todas estas observaciones proyectadas en dos dimensiones en hipótesis acerca de la estructura tridimensional, la forma y el tamaño del universo? ¿En qué posición está la Tierra? ¿A qué distancia están los planetas? ¿Cómo se mueven y por qué? Vamos a ver cómo el empeño en acomodar las observaciones en un esquema de movimientos circulares uniformes en los cielos definió durante siglos la geometría del universo.

LA RAZÓN ILUMINA EL COSMOS

Diferentes culturas han inventado relatos míticos acerca del origen de todo lo que existe y cómo se fue transformando hasta convertirse en el cosmos que percibimos y el mundo en que vivimos. Durante milenios, esos mitos no se vivieron como tales, sino como explicaciones verdaderas que aún hoy están muy presentes por todo el mundo. **Si bien hubo múltiples cosmovisiones, fue la civilización griega (ciertamente heredera de otras tradiciones), la que moldeó de manera importantísima las respuestas.** Estas no sirvieron a todas las culturas

contemporáneas y posteriores (ellos mismos manejaron una cantidad inmensa de ideas, a menudo contradictorias), pero se fueron abriendo camino para delinear el conocimiento sobre el universo tanto en Oriente como en Occidente.

Los griegos no se referían a ellos mismos como tal es, sino que eran los helenos; tampoco llamaban Grecia a su país, pues era la Hélade, y tampoco el concepto de país debe entenderse como el de hoy en día, pues la Hélade era un conjunto de ciudades-estado independientes (*poleis*, plural de *polis*), muy diferentes unas de otras tanto en extensión como en organización social y política. Algunas eran enormes, como Atenas, que llegó a tener 250.000 habitantes. Otras apenas alcanzaron unos cuantos miles. A partir del siglo IX a.e.c. la civilización griega se fue expandiendo por buena parte del Mediterráneo y del Mar Negro hasta alcanzar su máxima extensión en el siglo V a.e.c., limitada por Cartago en el oeste y por el Imperio persa en el este.

Dicha expansión geográfica y el intercambio con las civilizaciones mesopotámicas y egipcias pudieron favorecer la eclosión cultural que tuvo lugar a partir del siglo VI a.e.c. **Los relatos míticos comenzaron a transformarse en explicaciones más asentadas en la razón y la observación, pero el proceso no fue ni mucho menos inmediato, sino lento y gradual.** Aunque los dioses siguieron presentes y haciendo de las suyas, los elementos de la naturaleza y el cosmos fueron despojándose de sus características humanas y animales. La Tierra, por ejemplo, pasó de ser considerada como un ser femenino capaz de unirse con el dios del cielo y engendrar hijos, a un elemento físico de forma esférica, sin atributos personales. Un objeto con forma y tamaño que podían medirse. Al buscar respuestas que no estuvieran únicamente sostenidas en la fe, se posibilitó el surgimiento de voces discrepantes y el desarrollo del pensamiento crítico. Nació así la filosofía natural (los griegos no distinguían entre filosofía y ciencia), una forma de pensamiento que trataba de explicar la naturaleza a partir de causas racionales. Los primeros filósofos de la tradición occidental que en el siglo VI a.e.c. esbozaron aquella nueva forma de pensamiento,

se hallaban en la antigua región de Jonia. Ocupaba varias islas hoy pertenecientes a Grecia y parte de la actual Turquía, donde destacó la *polis* de Mileto, que en aquel siglo alcanzó la cima de su desarrollo. Allí nació y murió Tales (c. 624-c. 545 a.e.c.), uno de los iniciadores de la escuela filosófica de Mileto. A dicha escuela perteneció también Anaximandro (c. 610-c. 546 a.e.c.), de quien no se sabe mucho, pero sí lo suficiente como para atribuirle los primeros intentos de entender el origen y la estructura del cosmos según la geometría. También natural de Mileto, Anaximandro fue discípulo de Tales, casi con certeza, y maestro de Pitágoras (c. 570-c. 495 a.e.c.). Pudo haber viajado a Egipto y Babilonia, donde habría entrado en contacto con los conocimientos de astronomía y matemáticas de aquellas culturas, que luego introdujo en el mundo griego.

Anaximandro se inventó un cosmos realmente extraño. Nuestro planeta se hallaba flotando en el centro del universo sin que nada lo sostuviera. Es posible que ya concibiera la Tierra con forma esférica, si bien no hay acuerdo en este punto entre los historiadores y en general se afirma que el milesio la imaginó cilíndrica, siendo Pitágoras el primero en proponer su esfericidad. Al margen de esta cuestión, en el cosmos de Anaximandro la Tierra estaba rodeada por una especie de anillos, como ruedas de carro con los radios huecos, llenos de fuego y agujereados de manera que la luz que salía de los orificios originaba las estrellas. Las ruedas del Sol y la Luna, así como sus agujeros, eran de mayor tamaño y a veces cambiaban de forma, lo que explicaba las fases de la Luna y los eclipses.

Por raro que hoy nos parezca este universo, encerraba la original idea de que la Tierra flotaba sin apoyarse en nada. Para que esto fuera posible, Anaximandro razonaba que todos los puntos de la periferia del cosmos estaban a la misma distancia de la Tierra: la única forma que cumple la equidistancia de la superficie al centro es la esfera. **Anaximandro justificaba así con argumentos geométricos la esfericidad del cosmos geocéntrico.**

DEVOCIÓN POR LOS NÚMEROS

¿De verdad las matemáticas son aburridas? Que se lo digan a Pitágoras y los pitagóricos, que quedaron inmortalizados gracias a ellas. A menudo se alude al filósofo griego nacido en Samos, así como a los miembros y seguidores de la escuela que inició, como una secta. En el siglo VI a.e.c., aquel movimiento filosófico y religioso llegó a tener una influencia política muy importante en la *polis* griega de Crotona, en el sur de la península itálica. **Para los pitagóricos, en el universo había orden y armonía, estaba regido por unas leyes que podían llegar a comprenderse a través de los números y las figuras geométricas,** algo reservado para unos pocos elegidos (entre los que se encontraban ellos, cómo no). Los principios matemáticos eran los principios de todas las cosas.

Dividieron la realidad en dos planos con distintos grados de perfección, el físico y el metafísico. Las entidades del mundo metafísico eran inmateriales, inmutables, perfectas. Entre ellas estaban las almas de las personas fallecidas, también los números y las figuras geométricas, que, por tanto, existían fuera de la mente humana, no eran fruto de su invención. De ese plano metafísico procedían las matemáticas y emanaban la armonía y el orden que rigen el plano físico, mutable y corruptible en el que vivimos. Para conocer las leyes que explican lo que en él existe era imprescindible entrar en contacto con el plano metafísico, algo que solo podía lograrse a través de la mente y la razón abstracta.

En este proceso de matematización del mundo físico, el cosmos podía también explicarse a través de las matemáticas. Era un universo esférico que giraba en torno a la Tierra, también esférica. El Sol, la Luna y los planetas, asimismo en movimiento a su alrededor, estaban separados por distancias que correspondían a notas de una escala musical. Pitágoras se había dado cuenta de que los números relacionaban estas notas. Los pitagóricos pensaban que las proporciones

inherentes en la música no eran algo casual, sino que existían en toda la realidad física, también en el universo. Por tanto, describir el cosmos en términos musicales era pensarlo a través de las matemáticas. El cosmos quedaba ordenado con distancias crecientes medidas en intervalos musicales hacia la Luna, Mercurio, Venus, el Sol, Marte, Júpiter, Saturno y las estrellas fijas.

Algunos pitagóricos se alejaron del geocentrismo. Filolao de Crotona (c. 470-c. 385 a.e.c.) desplazó nuestro planeta de su posición privilegiada y lo puso en movimiento. Imaginó un cosmos esférico movido por un principio que emanaba de un fuego que ocupaba su centro. En torno a él giraban nueve elementos: la Tierra, la Luna, el Sol, los cinco planetas conocidos y, finalmente, la esfera de las estrellas fijas. Como le faltaba uno para completar el número 10, que era sagrado para los pitagóricos, imaginó la existencia de una Antitierra situada entre la Tierra y el fuego central y alineada con ambos. Para explicar por qué nadie había visto nunca ni aquel fuego ni la Antitierra, propuso que el hemisferio habitado de nuestro mundo miraba siempre en dirección opuesta. Más adelante, también Aristarco de Samos (c. 310-c. 230 a.e.c.) supuso que las estrellas fijas y el Sol estaban inmóviles y que la Tierra se movía en torno a este. No es que se le hiciera mucho caso, pero, como veremos en breve, Nicolás Copérnico lo recordará muchos siglos después.

La astronomía, la geometría y la aritmética eran materias de estudio importantes en la academia que fundó Platón (c. 429-c. 348 a.e.c.) en Atenas hacia el año 387 a.e.c. El filósofo asimiló muchas ideas de los pitagóricos, incluida la devoción por las matemáticas. Platón ordenó la Luna, el Sol, Venus, Mercurio, Marte, Júpiter y Saturno con distancias crecientes a la Tierra. Convencido de que el universo había sido construido con elegancia geométrica y dado que la esfera era la forma más simétrica y homogénea, la más bella que existía, los astros y el propio universo debían ser esféricos. **Además, como el movimiento más perfecto que se repetía una y otra vez era el circular uniforme, este había de ser el movimiento natural de los astros errantes en torno a la Tierra.** Sus complejos caminos aparentes en el cielo, consecuencia

de la retrogradación antes mencionada, se deberían a combinaciones de movimientos circulares.

Ya, pero... ¿Qué combinaciones? ¿Cómo se movían los astros errantes exactamente? ¿Cuál era la causa de los extraños bucles de los planetas durante la retrogradación? Para intentar resolver el rompecabezas, Eudoxo de Cnido (408 o 390-c. 337 a.e.c.), alumno de Platón, desarrolló un modelo que representaba el universo mediante un conjunto de esferas concéntricas cuyo centro coincidía con el del universo: allí se hallaba la Tierra inmóvil. Las esferas estaban unas dentro de otras y sus movimientos se combinaban para explicar los observados en el cielo. El Sol y la Luna tenían tres esferas cada uno y cuatro cada planeta. Añadiendo la de las estrellas fijas, hacían un total de veintisiete.

ARISTÓTELES, EL INFLUENCER

Aristóteles (384-322 a.e.c.) no terminaba de estar convencido de todo aquello del mundo metafísico lleno de números y figuras geométricas. Fue alumno de Platón en su Academia y discrepaba con él en numerosas cuestiones. Afirmó que solo existía el mundo físico y confiaba más en los sentidos y las pruebas empíricas que en las matemáticas. Aunque estas eran una herramienta útil, las consideraba una invención humana (nada que ver con la idea de números y formas geométricas con existencia independiente de la mente) y no siempre tenían una correspondencia en la realidad. En definitiva, fue más pragmático que sus antecesores, y para explicar la naturaleza y el cosmos le interesaba lo que se percibía con los sentidos, la física más que la metafísica, aunque sin renunciar a esta. De la cosmovisión aristotélica vamos a hablar una y otra vez a lo largo de este libro. Tuvo una influencia enorme durante dos milenios en las reflexiones acerca del diseño del universo, la naturaleza de la Luna, la de los cometas e incluso la posi-

ble existencia de vida extraterrestre. Por ello, merece la pena explicar sus ideas en profundidad y ponerlas en contexto.

Aristóteles propuso un cosmos eterno, finito, esférico y geocéntrico que era una amalgama de ideas heredadas y propias. **Estaba dividido en dos ámbitos: el sublunar, el de la Tierra y el ser humano, donde todo era corrupto y cambiante; y el supralunar o celestial, el de lo puro e inmutable, donde se hallaban la Luna, el Sol, los planetas y las estrellas.** La esfera de la Luna marcaba la frontera entre los dos, y la sustancia y los movimientos en ambos mundos eran radicalmente diferentes. El mundo sublunar estaba hecho de los cuatro elementos clásicos que ocupaban esferas concéntricas: la de la Tierra en el centro, rodeada por una esfera de agua, otra de aire y por último una de fuego. El movimiento natural propio de las cosas de aquí abajo era finito y rectilíneo. Todo tendía a su lugar natural moviéndose en línea recta hacia arriba (lo más ligero, hacia la esfera del aire y del fuego) o hacia abajo (lo más pesado, hacia el agua y la tierra): las burbujas del agua ascienden tratando de llegar a la esfera del aire, su lugar natural, mientras que una piedra cae hacia la esfera de la Tierra. El movimiento violento se oponía a esta tendencia (como cuando lanzamos un objeto al aire que vuelve a caer). Por otro lado, el mundo supralunar estaba hecho de una sustancia pura e inmutable, la quintaesencia o éter, caracterizada por un movimiento circular y perpetuo: era la sustancia de los astros, que además eran esféricos. En aquel cosmos no había ni un solo hueco vacío.

Las estrellas ocupaban la esfera más externa que marcaba el límite del cosmos, y cada uno de los siete astros errantes estaba inserto en esferas de menor tamaño que giraban en torno a la Tierra. El *primum mobile* o primer motor era la causa final de los movimientos del universo. Era inmaterial, eterno, inmóvil y, sin contacto físico, inducía el giro de la esfera de las estrellas, y de esta el movimiento se iba transmitiendo hacia el interior, esfera por esfera, hasta llegar finalmente a la de la Luna, la más baja y lenta. Para explicar los movimientos celestes, Aristóteles recurrió nada menos que a un total de cincuenta y cinco esferas concéntricas con la Tierra y con ejes de rotación diferen-

tes. Los astros errantes no describían órbitas tal y como se entenderán posteriormente, sino que eran transportados por las esferas en las que estaban «incrustados».

El universo quedó convertido en una compleja máquina abarrotada de esferas a las que Aristóteles atribuyó consistencia física. No eran meras construcciones geométricas, sino estructuras materiales hechas de éter: eran transparentes y no se podían ver. Así, trató de reproducir cualitativamente aquello que percibían los sentidos en la bóveda estrellada. Sin embargo, su modelo distaba mucho de ser perfecto y presentaba inconsistencias con las observaciones que urgía resolver. Por ejemplo: ¿por qué los planetas cambiaban de brillo? ¿Por qué el tamaño aparente del Sol variaba según la época del año? ¿Por qué el Sol invertía un tiempo diferente en desplazarse del equinoccio de primavera al de otoño, y del de otoño al de primavera?

CÍRCULOS Y MÁS CÍRCULOS

El cosmos de Aristóteles no servía tampoco para explicar cuantitativamente y predecir los movimientos aparentemente erráticos y confusos de los planetas en el cielo. **En la práctica, se necesitaba un método eficaz que permitiera calcular las posiciones de los astros errantes en cada momento con la mayor precisión posible.** En este proceso de búsqueda, el diseño del universo se iba transformando, si bien trabajosamente encorsetado por el empeño en salvaguardar el geocentrismo y los movimientos circulares uniformes.

Círculos y más círculos... con el tiempo se fueron incorporando conceptos geométricos como epiciclos y deferentes. Un planeta dado se desplazaba con movimiento uniforme en un círculo (epiciclo), cuyo centro a su vez se movía uniformemente describiendo otro círculo (el deferente). Para explicar las observaciones, los deferentes tenían que ser excéntricos respecto a la Tierra. Así, la distancia de la Luna, el Sol

y los planetas no era siempre la misma, por lo que parecía natural que el brillo de los planetas y el tamaño aparente del Sol no fueran constantes. Los movimientos aparentemente extraños en la bóveda celeste quedaban también mejor explicados, al mismo tiempo que se preservaba el principio de circularidad uniforme.

A medida que la calidad de las observaciones y las tablas de datos fueron más precisas, quedó claro que aún había mucho margen de mejora en la precisión de los cálculos, empresa que Claudio Ptolomeo (c. 90-168) acometió de manera magnífica en Alejandría. Aunque Egipto llevaba más de un siglo bajo el dominio romano, la tradición cultural helenística pervivía y esta ciudad era uno de los centros más importantes. **Las contribuciones de Ptolomeo definirían la interpretación del cosmos en las culturas cristiana, islámica y hebrea hasta el siglo XVI.** El astrónomo sintetizó el saber astronómico de la Antigüedad en el gran tratado *Mathēmatikē Síntaxis* (*Sintaxis Matemática*), completado hacia el año 150 e.c., que fue preservado en manuscritos árabes posteriores con el título de *al-Majisī*, «el más grande». De estos deriva *Almagesto*, como se conoce de manera más generalizada. El autor matematizó la noción física de un universo finito y cerrado que giraba en torno a la Tierra inmóvil. Utilizando tablas de datos actualizadas con observaciones del cielo de otros astrónomos, además de otras propias, **presentó un modelo coherente, completo y con poder predictivo de los movimientos y las posiciones de la Luna, el Sol y los planetas.** Conservó la obsesión por el movimiento circular y uniforme que, según sus palabras, era propio de los seres divinos.

Con este objetivo, Ptolomeo introdujo un concepto muy extraño, el «ecuate», que a muchos les provocaría dolor de cabeza hasta el siglo XVI. Definir el ecuate es como un trabalenguas: el centro de un epiciclo, que describía un círculo centrado en el centro del deferente correspondiente, tenía una velocidad angular constante, pero no con respecto al centro del deferente, sino con respecto al punto ecuate. Desde el punto de vista matemático, se lograba explicar con éxito los movimientos celestes, incluso los más extraños, con una precisión nunca antes lograda. Pero ¡un movimiento uniforme respecto a un

punto que no era el centro de nada ni estaba asociado con nada físico! Aquello parecía alejarse de la verdadera esencia de los movimientos uniformes en el cielo. El ecuante causaba cierto nerviosismo al propio Ptolomeo, pues sabía que podría ser duramente criticado por ello. Sin embargo, se escudaba en que los epiciclos, deferentes, excéntricos y ecuanes no eran realidades físicas, sino conceptos geométricos que permitían realizar cálculos con la precisión deseada. **Era consciente y aceptaba que un modelo matemático puede ser extraordinariamente eficaz, siendo al mismo tiempo falso.** Las matemáticas eran una herramienta creada por la mente humana que no necesariamente coincidía con la realidad física. Así salvaba la situación... más o menos.

Los textos de Aristóteles, Ptolomeo y muchos otros filósofos griegos prácticamente desaparecieron del mundo occidental durante mil años. No se perdieron para siempre gracias al esfuerzo de los eruditos musulmanes en el Mediterráneo oriental que, especialmente entre los siglos IX y XIII, se dedicaron a su traducción, interpretación y asimilación. Añadieron ideas nuevas, invenciones y descubrimientos; tradujeron también textos persas, indios y griegos al árabe con el fin de preservar aquel conocimiento. Todo ello impulsó un gran florecimiento cultural en el mundo islámico y posibilitó la transmisión de la sabiduría griega a Occidente, gracias a la avalancha de las traducciones al latín a partir del siglo XII.

EL COSMOS SE TRANSFORMA

En tiempos del astrónomo y matemático polaco Nicolás Copérnico (1473-1543), la astronomía era una disciplina matemática que no se interesaba tanto por la sustancia del universo ni los motores que en él actuaban, como por la construcción de modelos que permitiesen deducir y predecir los movimientos y las posiciones de los astros. El modelo de Ptolomeo seguía vigente, pero Copérnico no acababa de

creerse aquello del ecuante. Consideraba que contravenía los principios de regularidad del movimiento y quiso solucionar el problema sin recurrir a aquel concepto. Para ello, cuestionó dos principios milenarios: el lugar central de la Tierra y su inmovilidad. Los resultados los expuso en una obra que marcaría un antes y un después en nuestra concepción del universo: *De revolutionibus orbium coelestium* (*Sobre las revoluciones de las esferas celestes*, 1543). Copérnico retomaba y reforzaba con cálculos la idea de un cosmos heliocéntrico propuesta por primera vez por Aristarco de Samos, recordada de forma puntual y con poco éxito por otros que le sucedieron. **Copérnico se sirvió de la geometría construida por eruditos medievales, muchos procedentes del mundo islámico y propuso que todas las esferas celestes giraban en torno al Sol, que se encontraba en medio de ellas y tan cerca del centro del universo que, cualitativamente, este era heliocéntrico.** La Tierra se movía de dos maneras: rotaba una vez cada veinticuatro horas sobre sí misma y, al igual que los demás planetas, también alrededor del Sol, efectuando una revolución cada año, acompañada de la Luna.

Los movimientos retrógrados y directos vistos en el cielo no se debían a movimientos reales de los planetas, sino que el movimiento de la Tierra bastaba para explicar muchas de aquellas irregularidades aparentes. La aceptación del sistema heliocéntrico no fue ni mucho menos inmediata. Los mismos contemporáneos de Copérnico no reconocieron su obra como revolucionaria. Su teoría fue rechazada por la Iglesia católica como una descripción real del cosmos que contradecía las Sagradas Escrituras, donde encontramos pasajes que afirman la inmovilidad de la Tierra, como los siguientes: «Decid a los pueblos: “El Señor es rey: él afianzó el orbe, y no se moverá”», «Asentaste la tierra sobre sus cimientos, y no vacilará jamás» (Salmos 96, 10 y 104,5), «Tiemble en su presencia la tierra toda; él afianzó el orbe, y no se moverá» (1 Crónicas 16, 30), «Él tendió el septentrión sobre el vacío, suspendió la tierra sobre la nada» (Job 26, 7). El heliocentrismo tampoco tuvo adeptos entre los muchos ortodoxos de la cosmología aristotélica, incluidos astrónomos y eruditos de universidades que seguían trabajando dentro de la tradición ptolemaica.

Aquel cosmos que atacaba el geocentrismo y la inmovilidad de la Tierra no era un problema mientras no se defendiera como una realidad física, pero tampoco era la panacea. **Aunque Copérnico se deshizo del engorroso ecuante, mantuvo las esferas físicas, los epiciclos y los deferentes. Ni era más sencillo que el universo ptolemaico, ni hacía predicciones más exactas.** Con todo aquello en contra, antes de finalizar el siglo XVI no tenía opción de imponerse claramente a modelos competidores, como el mixto propuesto en 1588 por el astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1601), que no se resignaba a descartar el geocentrismo. Era un universo sin esferas físicas (esta idea era importante) en el que la Tierra inmóvil seguía ocupando el centro y el Sol (así como también la Luna) giraba en torno a ella, mientras que el resto de planetas lo hacían en torno al astro solar. La publicación del *De revolutionibus orbium coelestium* sí fomentó que comenzara a vislumbrarse un camino de cambios trascendentales en la interpretación del universo varias décadas después, cuando el telescopio comenzó a desvelar cosas nunca vistas.

A partir de 1609, el astrónomo y físico italiano Galileo Galilei (1564-1642) introdujo el recién inventado artilugio del telescopio como instrumento científico para explorar el cielo. Inició entonces una sucesión de descubrimientos que sacaron a la luz los múltiples errores de la cosmología aristotélica y mostraron que había que descartar el modelo ptolemaico. Publicó los resultados e interpretaciones en diversas obras, siendo *Sidereus Nuncius* (*Mensajero sideral*, 1610) la primera y más relevante. Galileo descubrió que Venus tenía fases, como la Luna, lo que consideró incompatible con el sistema planetario prevalente y explicable de manera natural si el planeta giraba en torno al Sol. Descubrió asimismo los cuatro «planetas mediceos» (estos son los satélites jovianos Ío, Europa, Calisto y Ganimedes) moviéndose alrededor de Júpiter, cuyo brillo además variaba. Por tanto, ni todo giraba en torno a un único centro de movimiento (la Tierra), ni todo era inmutable en el mundo supralunar. Vio también que había manchas en el Sol y que la Luna tenía montañas y valles, como la Tierra (capítulo 4). No eran cuerpos perfectos como afirmaban los aristotélicos.