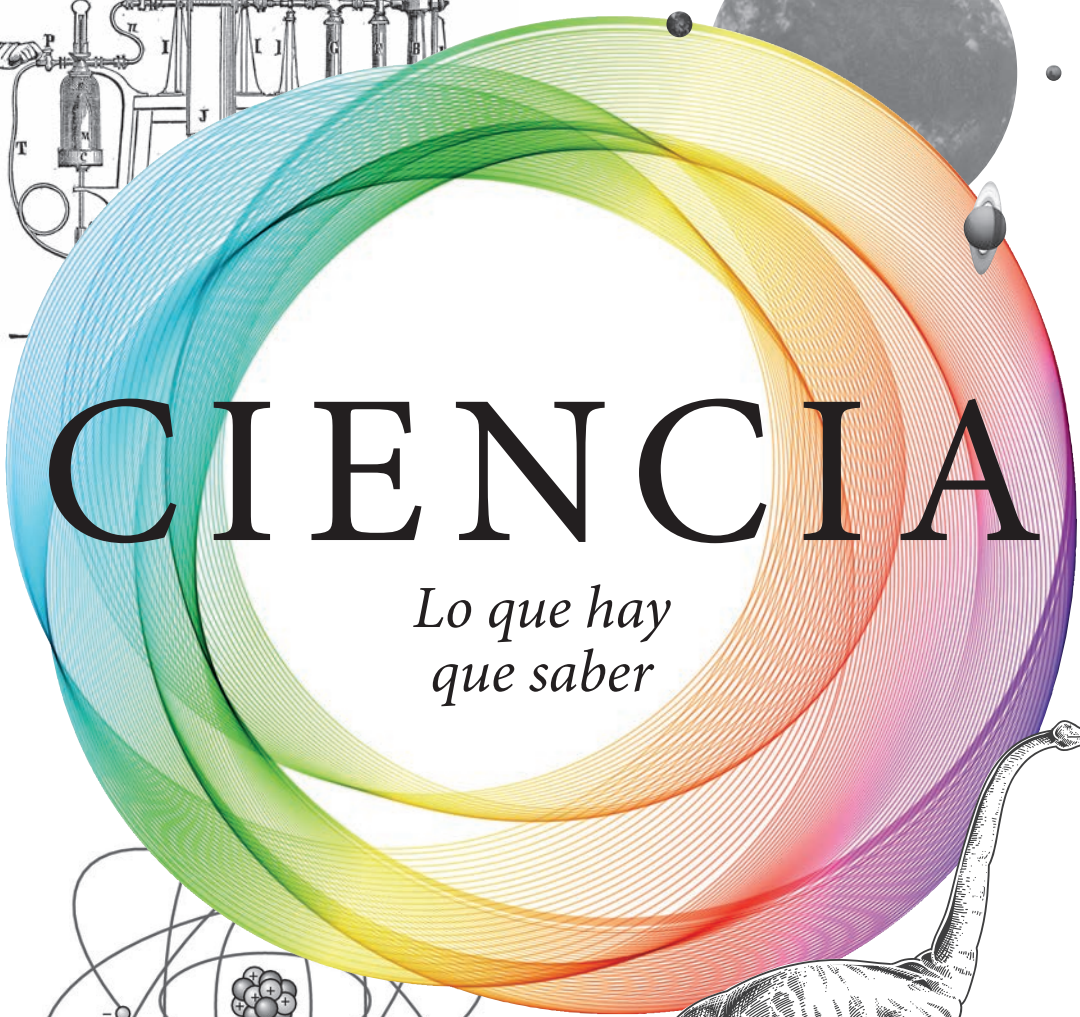
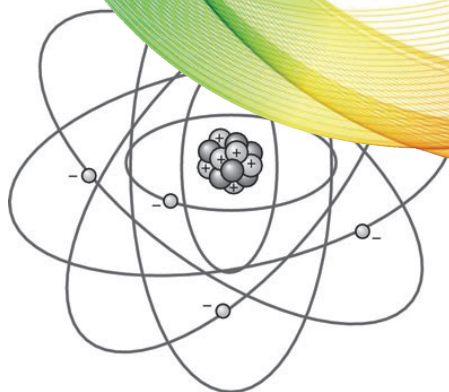
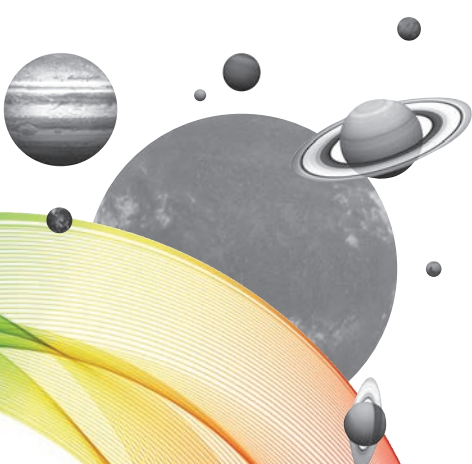
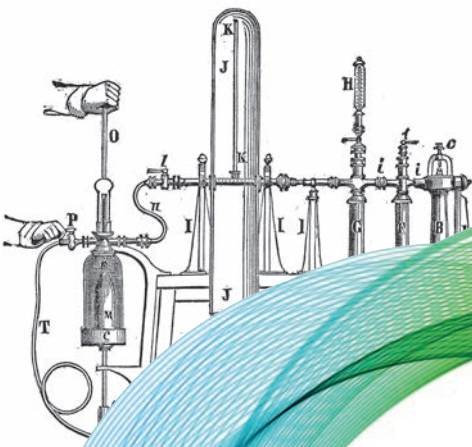


MIGUEL ARTOLA
JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ RON



CIENCIA

*Lo que hay
que saber*




ESPASA

MIGUEL ARTOLA
JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ RON

CIENCIA
LO QUE HAY QUE SABER



© Miguel Artola, 2017
© José Manuel Sánchez Ron, 2017
© Espasa Libros, S. L. U., 2017

Diseño de cubierta: Planeta Arte & Diseño

Imágenes del cubierta: © Ibusca, © Ian Mckinell, istock y © Man Half-Tube, Getty Images. © Imágenes del interior: World History Archive - AGE, SPL - Age, Bettmann / Getty Images, AESA, Erich Lessing / Album, Diego Carrillo, Denis Larkin - Shutterstock, Rabatti - Domingie / akg-images / Album, CSP_Morphart - AGE, Science Source - AGE, Classic Vision - AGE, Niku - Shutterstock, Gregory Tobias /Chemic / Science Photo Library - AGE, Josse Christophel / AGE, Heritage Image - Oxford Science Archiv - AGE, Calderon Studio, ilbusca - Getty Images, SM/SSPL/AGE, David Mack /Science Photo Library / AGE, The Granger Collection / AGE, Apic / Getty Images, Sammlung Rauch - Interfoto - AGE, Designua - Shutterstock, W.F. Meggers / SPL / AGE, Lawrence Berkeley/SPL/AGE, Universal Images Group - AGE, Keystone - France / Gamma - Keystone via Getty Images, Caltech / MIT / LIGO Lab / AGE, NASA / World History Archive / AGE, King's College London / Mary Evans Picture Library Ltd /AGE, Interfoto /AGE, American Philosophical Society / Science Photo Library / AGE, Pixtal - AGE, Mary Evans / Natural History Museum / AGE, Alamy Limited / AGE, C Meier - doc-stock GmbH RM/AGE, Alfred Eisenstaedt / Pix Inc. / The LIFE Picture Collection / Getty Images, Archivo Espasa.

Depósito legal: B. 10.391-2017
ISBN: 978-84-670-5011-0

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 este 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 (arts. 270 y siguientes del Código Penal).

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.

Espasa, en su deseo de mejorar sus publicaciones, agradecerá cualquier sugerencia que los lectores hagan al departamento editorial por correo electrónico: sugerencias@espasa.es.

www.espasa.com
www.planetadelibros.com

Impreso en España/*Printed in Spain*
Impresión: Unigraf, S. L.

El papel utilizado para la impresión de este libro es cien por cien libre de cloro y está calificado como **papel ecológico**.

Espasa Libros, S. L. U.
Avda. Diagonal, 662-664
08034 Barcelona

ÍNDICE

PRÓLOGO	13
INTRODUCCIÓN	15
I	
FILÓSOFOS, MÉDICOS Y CIRUJANOS, ASTRÓNOMOS Y NATURALISTAS. OBSERVAR LA NATURALEZA	25
1. El cielo	26
2. La Tierra	31
3. Los seres vivos	38
4. La especie humana	41
II	
HACIENDO NÚMEROS, ELABORANDO TEORÍAS. LA ESPECULACIÓN	45
1. Contar: números naturales	46
2. Medir, calcular: números reales	48
3. Axiomas y teoremas: geometría y trigonometría	50
4. Ecuaciones, álgebra	55
5. Cosmología: el sistema geocéntrico	56
6. La aplicación del cálculo a la observación	59
7. La especulación médica	60
III	
EL CAMINO HACIA LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA. VERIFICARLO TODO	64
1. El sistema heliocéntrico	64
2. El valor de la precisión: Tycho Brahe	68

3. Las primeras leyes de la naturaleza	70
4. La observación telescópica	73
5. Más allá de Galeno: Vesalio	78
6. La fisiología	80

IV

LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA.

TODOS SE OBSERVA, TODOS SE MIDE	87
1. El paso del tiempo	89
2. Velocidad y movimientos	94
3. La física del movimiento	97
4. El método científico y las ciencias experimentales	100

V

PARTÍCULAS, FUERZAS Y ENERGÍA.

NEWTON A LA CONQUISTA DEL CONTINENTE	104
1. Interacción	104
2. Interacciones por contacto: los vórtices de Descartes	105
3. La dinámica y gravitación newtonianas	106
4. Energía	112
5. El paradigma newtoniano	115

VI

NUEVAS HERRAMIENTAS DE CÁLCULO.

LAS MATEMÁTICAS MÁS ALLÁ DEL NÚMERO	119
1. Trigonometría, logaritmos	120
2. Geometría de coordenadas	122
3. Funciones	122
4. Cálculo infinitesimal e integral	124
5. La noción de límite	129
6. Probabilidades	130

VII

LÍQUIDO, SÓLIDO, GASEOSO.

DE LA ALQUIMIA A LA QUÍMICA	134
1. <i>Materia rerum</i>	134
2. Alquimia	137

3. Gases: presión y vacío	140
4. Elementos y compuestos	143
5. Átomos y moléculas	148
6. La tabla periódica de los elementos	150

VIII

EL CARBONO, PRINCIPIO DE VIDA	154
1. La química del carbono	154
2. Materia y materiales orgánicos	158
3. La valencia química y la teoría estructural	164
4. La químico-física	169

IX

DOMINAR A PROMETEO. EL CALOR	175
1. El calor como magnitud	175
2. Calor, cambios de fase y máquinas de vapor	178
3. La termodinámica: el principio de conservación de la energía	180
4. El segundo principio de la termodinámica y la entropía	184
5. La física estadística	186
6. El tercer principio de la termodinámica	191

X

MAGNETISMO Y ELECTRICIDAD. EL SECRETO DEL ÁMBAR	193
1. Magnetismo	193
2. Electricidad estática	195
3. La pila eléctrica y la corriente eléctrica	198
4. Electromagnetismo	200
5. Electrodinámica	204
6. La transmisión de electricidad	206

XI

LA LUZ, MÁGICA EMANACIÓN	208
1. La visión	208
2. De Kepler a los «corpúsculos» de Newton	210
3. La luz, un fenómeno ondulatorio	214

4. La velocidad de la luz	217
5. La luz, un fenómeno electromagnético	219

XII

RADIACIONES, ENERGÍAS INVISIBLES	220
1. La espectroscopia	222
2. Rayos catódicos y rayos X	228
3. La radiactividad	232
4. Transmutación de elementos	237
5. Radiactividad artificial	241

XIII

LA MAYORÍA DE EDAD DE LA MATEMÁTICA O LA TENUE FRONTERA ENTRE LO ABSTRACTO Y LO REAL	245
1. Teoría de grupos	246
2. Geometrías no euclídeas	249
3. El infinito	251
4. Fundamentos de matemáticas	254
5. Máquinas matemáticas	257
6. Caos y fractales	263

XIV

TODO ES RELATIVO: EINSTEIN	266
1. Sistemas de referencia	266
2. La teoría del electrón de Lorentz	268
3. La relatividad especial	272
4. La teoría de la relatividad general	278
5. Unificación (geométrica) de fuerzas	282

XV

MISTERIOSAS PARTÍCULAS. UN MUNDO CUÁNTICO	285
1. El electrón	285
2. Cuantización de la radiación	287
3. Cuantización de la materia	289
4. La mecánica cuántica	291

5. La electrodinámica cuántica y física de «partículas elementales»	299
6. Unificaciones	306

XVI

DEL CAOS AL ORDEN. EL ESTUDIO DEL UNIVERSO	309
1. Descubrimientos astronómicos	309
2. Nuevos instrumentos astronómicos	311
3. La expansión del Universo	314
4. Origen y evolución del Universo	316
5. Cosmodiversidad	321
6. Nucleosíntesis estelar	328

XVII

UN PLANETA QUE RESPIRA: EL HÁBITAT DE LA VIDA	333
1. El Sistema Solar	333
2. La Tierra	339
3. Fotosíntesis y efecto invernadero	351
4. Oxígeno en la atmósfera terrestre y formas primitivas de vida	355
5. Atmósferas planetarias	358
6. La Tierra, hábitat de la vida	360

XVIII

LA CÉLULA ES LA VIDA	363
1. Naturaleza de la vida	363
2. La célula	367
3. Bacterias y arqueas	376
4. Virus	377
5. El sistema nervioso	377
6. La reproducción celular	379

XIX

MOLÉCULAS Y ORIGEN DE LA VIDA: DE MENDEL A DOLLY	384
1. Ácidos nucleicos	384
2. El redescubrimiento de Mendel	385

3. El ADN, material hereditario	389
4. El ADN recombinante	397
5. El Proyecto Genoma Humano	398
6. La clonación	400
7. Células madre	402
8. Origen e historia de la vida	403

XX

EVOLUCIONISMO.

DESCENDIENTES DE UNA FORMA PRIMORDIAL	412
1. Variedad y riqueza de la vida	412
2. Clasificaciones	415
3. La evolución de las especies	417
4. Esbozo de cómo evolucionaron las especies	431

XXI

DE BARBEROS Y CIRUJANOS. SALUD Y ENFERMEDAD	436
1. Instrumentos	439
2. Las enfermedades orgánicas	446
3. Una nueva farmacología	452
4. Enfermedades infecciosas y teoría microbiana de la enfermedad	454
5. Anestésicos y asepsia	459
6. Antibióticos	460
7. Enfermedades mentales	462
8. Trasplantes	467
ÍNDICE ONOMÁSTICO	473

I

FILÓSOFOS, MÉDICOS Y CIRUJANOS, ASTRÓNOMOS Y NATURALISTAS. OBSERVAR LA NATURALEZA

Los escritos más antiguos se remontan al III milenio a. C.: tablillas sumerias y jeroglíficos egipcios. China desarrolló la escritura hacia 1600 a. C., mientras que el lineal B fue la escritura de los griegos de Creta y Micenas (c. 1375-1200 a. C.). La escritura de los Vedas se sitúa entre los siglos XV y XI a. C. y los jeroglíficos mayas son del siglo VI a. C. Constituyen los restos más antiguos de un pensamiento anónimo. El teorema de Pitágoras, que ya mostraron conocer los caldeos, se encuentra en distintas culturas antes de su atribución al propio Pitágoras. En el siglo VIII a. C. Bauhyana (activo en torno al 800 a. C.), escribió el primer Shulba Sutra, en el que se encuentran varios triples pitagóricos, los números enteros que cumplen con el teorema de Pitágoras, como 3, 4, 5 o 12, 35, 37. El objeto de la ciencia era el conocimiento de la naturaleza, y la observación, el método idóneo para ello. Los objetos específicos de estudio en la naturaleza eran el Cielo y la Tierra, cosas inanimadas que dependían de una acción o fuerza exterior para su movimiento, y los seres vivos —plantas, animales y humanos—, con una fuerza interior. En el siglo V a. C., el Génesis ofreció el relato de la creación, a partir de la nada, del Cielo y la Tierra, la luz, el firmamento, el agua y las plantas, el Sol y la Luna, los animales que habitan los diversos medios, el hombre y, surgida de éste, la mujer.

1. El cielo

A partir del 3200 a. C., los sumerios iniciaron la observación de los cuerpos celestes, a los que dieron nombre e identificaron por sus caracteres, posición y movimiento. Se calcula en 6.000 el número de estrellas que se pueden observar a simple vista, aunque las conocidas hasta la invención del telescopio (comienzos del siglo XVII) no llegaban a la mitad de esa cifra. Llamaron estrellas fijas a los cuerpos más lejanos, que aparecían siempre en la misma parte del cielo, de las que sólo las más brillantes fueron identificadas al darles nombre y determinar su posición: Polar, Antares, etc. Los cometas eran estrellas que cruzaban el cielo y desaparecían en el horizonte. Todos los que contemplaron la multitud de los cuerpos celestes coincidieron en la conveniencia de identificarlos mediante un catálogo que incluyese nombre, posición, aparición y ocultación. En Alejandría asociaron el brillo a la magnitud, dieron el número 1 a las estrellas más brillantes y el 6 a las más pequeñas de las visibles, cada una con doble brillo que la siguiente. La catalogación de las estrellas fue la primera actividad científica en todas las culturas antiguas conocidas. Los sumerios fueron los primeros en hacerlo. Tras destruir Nínive (612 a. C.), los caldeos, semitas del sur de Mesopotamia, constituyeron un nuevo reino en Babilonia, que duró hasta el 539 a. C.; de ellos se conservan 70 tablillas que recogían observaciones y noticias (*Enuma Anu Enlil*). Un catálogo de 71 estrellas que podría remontarse al II milenio a. C. es el *Mul.Apin*; se trata de la principal fuente de conocimiento astronómico mesopotámico que poseemos (la copia más antigua conocida data del 687 a. C.). Hiparco (190-120 a. C.) reunió noticias de 850 estrellas hacia 120 a. C., mientras que el catálogo de Ptolomeo (siglo I a. C.) incluía 1.022 estrellas fijas, 800 de las cuales eran conocidas por los chinos en el 350 a. C.

La observación del movimiento ascendente y descendente del Sol en el cielo durante el día y el de la Luna durante la noche condujo a concebirlo como una semiesfera, la bóveda celeste. Se descubrió que había un punto, perpendicular en el cielo, al que se llamó «cenit»; también, que al viajar desaparecían unas estrellas y surgían otras distintas. A partir de estas invenciones se proyectaron los puntos, líneas y figuras terrestres para observar las estrellas sobre el fondo de la bóveda celeste: al prolongar en las dos direcciones el eje



Tablilla cuneiforme

imaginario que atraviesa la Tierra, se determinó el de la esfera celeste con sus dos polos, y al extender el plano del ecuador terrestre se imaginó otro celeste. Todo lo que había en la Tierra podía representarse por un punto en el cielo, y para facilitar su descripción se introdujeron las constelaciones, grupos de estrellas arbitrariamente asociadas, a las que se asignó una parte de la bóveda celeste, lo que permitía indicar en qué zona del cielo se habían producido los cambios observados. Los sumerios dividieron la bóveda celeste en doce constelaciones, el *Mul.Apin* aumentó el número a 17, Homero menciona las constelaciones de Boyero, Orión y la Osa mayor, Ptolomeo ofreció una lista de 24 y en el siglo III Zang Heng catalogó 2.500 estrellas en 100 constelaciones, mientras que un siglo después Chen Zhui redujo el número de las primeras a 1.484 y aumentó el de las segundas a 283. En 1922, la Unión Astronómica Internacional decidió poner fin a la confusión restringiendo las constelaciones a 88 y describiendo los límites de cada una.

El descubrimiento en 1900 de un pecio en aguas de la isla Antikitera, al norte de Creta, proporcionó un instrumento que recibió el nombre del lugar, aunque su función no se identificó hasta pasadas varias décadas. Los estudios más recientes lo describen como un

ordenador analógico que predecía las posiciones de los cuerpos celestes. Las tablas astronómicas, una construcción matemática basada en el registro de los movimientos celestes, permitían calcular la posición de los planetas, las fases de la Luna, los eclipses y otros acontecimientos. Ptolomeo ofreció en el *Almagesto* modelos geométricos que mediante el uso de las correspondientes tablas hicieron posible el cálculo de las posiciones pasadas y futuras de los planetas. Las tablas musulmanas, *Zij*, por su nombre persa, de las que se conservan más de doscientas, se caracterizan por la riqueza de su información. En el siglo X, al-Sufi describió la posición y caracteres de los cuerpos celestes e incorporó una «pequeña nube», la constelación de Andrómeda, además de la «gran nube» magallánica. Ibn Yunis (950-1009) destacó por la precisión de sus cifras y al-Kujandi calculó la inclinación de la eclíptica. Alhacén realizó (1009) observaciones en las que modificó las condiciones de la observación. Los observatorios de Bagdad en el siglo IX, Maraghe en el XIII, Samarcanda en el XV y Estambul en el XVI contribuyeron al conocimiento del cielo. Merecen también mención las célebres *Tablas alfonsíes*, que se utilizaron durante siglos en Occidente y fueron compiladas, por iniciativa y mandato de Alfonso X el Sabio (1221-1284), por Judá ben Mosé e Ishaq ben Sid en el año 1272. Juan de Sajonia explicó el medio de adaptarlas a cualquier lugar. Se copiaron e imprimieron hasta que las *Tablas rudolfinas*, en cuya preparación se sucedieron Tycho Brahe y Kepler, vieron la luz en 1627.

La observación de la marcha del Sol sobre el fondo de la bóveda celeste permitió identificar la línea de la eclíptica y el espacio ecuatorial, entre los 8° norte y los 8° sur del plano del ecuador celeste, en que se producían los fenómenos más significativos, como los eclipses. En algún momento de la primera mitad del primer milenio, los babilonios dividieron el Zodíaco en doce partes iguales, que identificaron por un nombre y un signo que los romanos cambiaron por los actuales. El Zodíaco (una banda de la esfera celeste de 18° de ancho centrada en la eclíptica) clásico es una adaptación del *Mul.Apin*, y Ptolomeo describió su construcción. La multiplicación de las esferas, una sólida e inmóvil, la Tierra, siete virtuales que transportaban el Sol, la Luna y los planetas, y otra que llevaba a las estrellas fijas complicó la imagen del cosmos. La observación de los movimientos celestes condujo a la definición de las unidades del tiempo astronómico. El día es el tiempo que transcurre entre dos apariciones suce-

sivas del Sol, y fue dividido en dos partes —día y noche— tomando como referencia la puesta del astro. La duración del día y la noche, medida con un reloj de arena o de agua, mostró que no eran iguales salvo en dos ocasiones (*aequinocetium*). De esta observación dedujeron que el plano de la eclíptica que recorría el Sol era distinto del ecuador celeste y que los equinoccios eran los puntos de intersección de los dos planos. El año era el tiempo transcurrido entre dos pasos sucesivos del Sol por el equinoccio de primavera, que sirvió como punto de partida para medir las distancias ecuatoriales, y llamaron «mes» al tiempo necesario para cruzar una estación del Zodiaco. El siglo no era más que un múltiplo.

La utilidad de registrar la información y predecir los acontecimientos fue el origen del calendario, una necesidad que compartieron todas las culturas, de las que se conservan restos suficientes para reconstruir su utilización y apreciar su precisión. El año solar tiene 365 días «y pico», y el mes lunar 29 «y pico» (el cociente es algo menos de 12,4 meses). La rotación de la Tierra sobre su eje requiere 24 horas con una velocidad angular de 15° por hora. Los primeros calendarios (datados alrededor de 2.000 años antes de Cristo) eludían las soluciones fraccionarias mediante la acumulación de los restos, de forma que el número de días de un mes era variable. La aparición en el horizonte de Sirio (*Sothis*), después de un largo periodo en el que quedaba oculta bajo la línea del horizonte, marcaba en Egipto el comienzo del año civil, que coincidía aproximadamente con la inundación del Nilo. En torno al 3000 a. C. los calendarios egipcios y sumerios tenían 12 meses de 29 y 30 días, que sumaban 354 días al año, y cada 3 o 4 años los primeros añadían un mes para ajustar los datos a la realidad, operación que los segundos retrasaban hasta pasados ocho años. En China descubrieron la duración del año y el mes hacia 1400 a. C., y añadían un mes de vez en cuando. El calendario redondo de los zapotecas de Monte Albán (c. 800 a. C.) tenía 365 días y un ciclo de 52 años. Los mayas utilizaron varios calendarios: el *tzolkin* de 260 días para los augurios, el de 365 días, que dividieron en 18 meses de 20 días y cinco más, considerado de mal augurio, y un calendario lunar para la predicción de los eclipses. La falta de un suceso que sirviese como origen del tiempo (era) limitó la utilidad de los calendarios para situar los acontecimientos.

Determinar las dimensiones de los cuerpos celestes y las distancias de éstos a la Tierra y entre dos de ellos fue el siguiente paso en

el conocimiento del cielo. La representación del cosmos y el establecimiento de la primera de estas distancias mostraron la posibilidad de medir las magnitudes celestes.

Un resultado muy importante se debió a Eratóstenes (c. 276-194 a. C.). Tras encontrar unos documentos con la noticia de que a mediodía del solsticio de verano la luz del Sol iluminaba el agua del fondo de un pozo en Asuán, pensó que Alejandría estaba en el mismo meridiano y procedió a medir la distancia angular entre ambos puntos, en tanto la lineal era conocida. La primera, mediante el cálculo del ángulo con que incidía la luz en el punto al que llegaba la sombra de un poste, un valor de $7^{\circ} 12'$, que, de acuerdo con el teorema de Euclides de los ángulos internos, era la distancia angular. La segunda, con la ayuda de personas que medían las distancias con los pasos. En Egipto era una práctica conocida, y la distancia entre ambos puntos se estimó en 5.000 estadios (unidad equivalente, para los griegos, a unos 185 m), que se dividían en 125 pasos o 625 pies. Calcular la longitud de un grado y la de la circunferencia eran operaciones elementales, y el resultado contenía un error del 15 %. La medida de la longitud de la circunferencia terrestre (250.000 estadios) fue el resultado feliz de la compensación de las hipótesis asumidas y de los errores previsibles.

Aprovechó también Eratóstenes el eclipse total de Sol del 190 a. C. para medir la distancia al Sol y a la Luna en radios de la Tierra. En la primera se quedó corto y en la otra dio una cifra muy próxima a la actual, con un error inferior al 1 por 200.

Dos discípulos de Pitágoras son recordados como los primeros en proponer la idea del movimiento de rotación de la Tierra sobre su eje, un descubrimiento que se supone sucedió entre 530 y 350 a. C. Aristarco de Samos (310-230 a. C.) describió la rotación de la Tierra en torno al Sol, pero no contempló la realizada por el planeta sobre su eje, algo que sí se hizo con la recuperación del sistema heliocéntrico. No obstante, la experiencia que demostró la realidad de la rotación terrestre se debe a Léon Foucault (1819-1868), que en 1851 colgó de la bóveda del Panteón de París un péndulo que mostraba el giro de la Tierra (la base de este resultado se encuentra en que el plano de oscilación de un péndulo permanece constante con respecto a un observador inercial; lo que se observaba en el Panteón era que el péndulo giraba con el paso de las horas, hasta completar un giro completo, el —en realidad— giro de la Tierra sobre su eje).

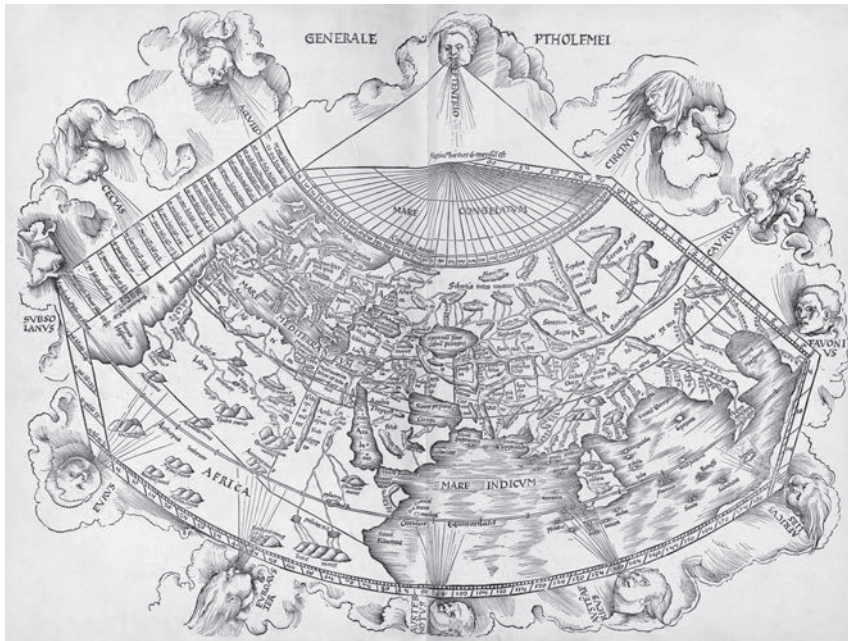
Un punto que no conviene olvidar es que la observación con los medios que proporciona el cuerpo humano tiene sus límites; es por esto por lo que hay que resaltar unas contribuciones de Hiparco que marcaron un punto de inflexión en el conocimiento del cielo. Nos referimos a la construcción de instrumentos destinados a medir los ángulos. Hiparco formuló la teoría del astrolabio, cuya invención atribuyó a Eratóstenes, y desarrolló el cuadrante, un instrumento formado por dos piezas perpendiculares, de madera o bronce, unidas por un arco graduado de 90° , con una mira en uno de sus lados. Muy importante fue, asimismo, su formulación del cálculo trigonométrico, cuyos elementos básicos eran seno, coseno, tangente y cotangente.

En 140, Claudio Ptolomeo (c. 100-190) realizó la síntesis del conocimiento de los cielos en la *Mathematike Syntaxis* (c. 141), un modelo matemático que explicaba los movimientos del Sol, los planetas y la Luna, y que se conoció como *Ho megiste astronomas* («el mejor astrónomo»), del que procede el nombre árabe (*Almagesto*). El desplazamiento del centro del deferente a un punto distinto al centro de la Tierra (ecuanter) le permitió mantener el movimiento uniforme y predecir los movimientos celestes, incluido el comienzo de la eclíptica. Fue la cumbre de la cosmología geocéntrica; esto es, aquella en la que la Tierra ocupaba el centro del Universo.

2. La Tierra

En el siglo IV a. C. Platón había explicado la naturaleza de las cosas y los seres como la imposición de una idea, la forma, a la materia informe, y Aristóteles (384-322 a. C.) desarrolló la doctrina al considerar que la forma era la causa eficiente y la causa final de las cosas y de los seres. Antes de que hubiese un conocimiento científico de la Tierra, el único cuerpo celeste que los humanos no pueden contemplar con un golpe de vista, se había discutido sobre su forma y posición. Mucho antes de que la expedición de Magallanes-Elcano probase en 1522 la esfericidad del planeta, al regresar al punto de partida navegando siempre hacia el oeste, y de que la tripulación del Apolo 8 contemplase en 1968 por primera vez la esfera terrestre, los observadores habían desechado la idea de la Tierra como un disco plano.

La falta de perspectiva no permitía la contemplación de la totalidad de la Tierra, y los primeros en imaginarse su forma y composición se inclinaron por considerar que era plana, circular o cuadrada, y que se encontraba flotando sobre el Océano. La más antigua representación conocida de la Tierra se encuentra en una tablilla caldea (c. 600 a. C.), el primero de una larga serie de mapas circulares. La superficie de la Tierra aparecía como una masa continental, en la que dos mares —Mediterráneo y Rojo— separaban tres continentes, con Babilonia en el centro y el Océano como límite. En el siglo VI a. C., Anaximandro produjo una imagen que Herodoto describió en términos que recuerdan la anterior, a juzgar por una reconstrucción del siglo XIX. A pesar de su sencillez se reconocen el Mediterráneo, el Nilo, el mar Negro y el río Phasis (Rioni en la actualidad), que separaban los continentes. Hecateo de Mileto (550-476 a. C.) circunnavegó el Mediterráneo (periplo) y describió sus costas y puertos. El mapa que lleva su nombre es más detallado que el anterior, la península ibérica es irreconocible, en tanto la itálica y la helénica no plantean dificultades y hay media docena de islas conocidas. La división en dos continentes, Europa al norte y Asia al sur, es, en cambio, fantástica. Tras un milenio largo, Isidoro de Sevilla volvió en el siglo VII a la representación circular de la Tierra y sustituyó la representación más o menos fiel de la línea de costa por una construcción geométrica del espacio. Dividió el círculo en dos hemisferios, colocó Asia en la parte superior, y Europa y África, separadas, en la mitad inferior. Dos franjas perpendiculares podrían simbolizar los mares Mediterráneo y Rojo, y el Océano que circundaba la Tierra. Fue el primero de una serie de mapas geométricos conocidos como «mapas TO» por la «T» que se formaba al separar los continentes dentro de la «O» del Océano. Era una construcción simbólica sin valor científico ni utilidad práctica. Fue el modelo de los mapas medievales, que conservaron la imagen circular del Océano y sustituyeron el esquematismo por la fantasía; mapas como los del beato de Liébana en España (1050) o el que se encuentra en el diccionario (1072) preparado por el turco Mahmud al-Khasgari (1005-1102). En el siglo XIII los grandes mapas del monasterio benedictino de Ebstorf (1235), en la Baja Sajonia, y el conservado en la catedral de Hereford (1300), Inglaterra, enmascararon la construcción circular al incorporar los ríos y multiplicar los nombres. La cosmología budista abundó en la misma idea y en China se concibió la Tierra como un cuadrado plano.



Mapa de la Tierra de Ptolomeo, de la edición de la *Geographia* publicada en 1513 por el cartógrafo alemán Martín Waldseemüller

Dicearco de Mesina (siglo IV a. C.) sustituyó la representación circular por una proyección plana e introdujo la primera línea imaginaria (diafragma) desde las columnas de Hércules hasta Rodas para representar las distancias y marcar las posiciones. La idea de la Tierra plana sobrevivió hasta la Edad Media, a pesar de que Aristóteles acumuló argumentos y observaciones en contra: los que viajaban hacia el sur descubrían nuevas constelaciones, la sombra de la Tierra sobre la Luna durante un eclipse era curva, el casco de un barco era lo primero que desaparecía al alejarse.

Los mapas más antiguos de China se limitan a una parte del territorio. Los siete mapas de Qin (siglo IV a. C.) representan un territorio de 7.000 km², los tres de seda del siglo II son regionales e incluyen las primeras coordenadas. El *Da Ming Hun Yi Tu* de 1389 reproduce con notable exactitud el contorno de la costa de China, de forma que compite con los portulanos mediterráneos de Abraham Cresques. La imagen de la Tierra como un disco sobrevivió en India hasta que Aryabhata (476-550) estableció la esfericidad y la rotación del planeta, defendió el heliocentrismo (el Sol en el centro del Universo) y

calculó su longitud con menos precisión que Eratóstenes. La versión al árabe de Ptolomeo proporcionó la base sobre la que se construyó la geografía islámica. La fundación abasida de Bagdad en 762 creó un centro científico cuya influencia fue decisiva para la difusión de las ideas ptolemaicas. Hacia el 830, el califa al-Mamun encargó que se midiese la distancia de Palmira a al-Raqqah para calcular la longitud de la circunferencia, y al-Khwarizmi, el más conocido miembro de la Casa de la Sabiduría, completó el *Libro de la apariencia de la Tierra*, que aumentó las coordenadas de las poblaciones a 2.402, tres veces las de Ptolomeo, rebajó la longitud del Mediterráneo calculada por éste de 63° a 50°, más cercana a la realidad, y trasladó el meridiano 0 al este de Alejandría. En el siglo XI, al-Biruni empleó la trigonometría para calcular la longitud del radio terrestre (6.399,9 km) con un error del 3,8 %. Al-Idrisi dibujó un atlas de la Tierra en setenta láminas, la *Tabula rogeriana* de 1154, que mejoraba sensiblemente el conocimiento del este y sur del de Ptolomeo, a cambio de un deficiente dibujo de la línea de costa. Ibn Batutta, el mayor viajero de la Edad Media, reunió toda clase de noticias, pero no ofreció ninguna representación del norte de África y del Próximo Oriente. Los mapas atribuidos a Ptolomeo en la parte cristiana del continente son creaciones del siglo XV y tienen autores conocidos.

Beda fue el primer autor cristiano que asumió la esfericidad de la Tierra en *De temporum ratione* (725), texto en el que se puede leer: «el corazón de la circunferencia representará la figura de un globo perfecto». Los portulanos medievales llevan este nombre por la especial atención y precisión en el trazado de la línea de costa y el dibujo de los puertos. Pietro Vesconte fue el iniciador del género y el autor de un mapa universal (1321), y en Mallorca se produjo en el siglo XIV la pieza más famosa, el *Atlas* de Abraham Cresques. Es dudoso que obras de este valor se utilizasen a bordo de los barcos. Los viajes marítimos a larga distancia crearon una fuerte demanda entre los navegantes y los estudiosos interesados por el conocimiento de la Tierra. La multiplicación de los ejemplares producidos por la imprenta justificó la inversión para mejorar su calidad. Los mapas de Ptolomeo conocieron distintas ediciones y Gerardus Mercator (Flandes, 1512-1594) introdujo la proyección cilíndrica en la que meridianos y paralelos son líneas rectas y las dimensiones se alargan en los extremos.

Conocida la forma de la Tierra y la representación de la esfera mediante la proyección de los puntos de la esfera sobre un plano,

hemos de retroceder en el tiempo para resolver un problema aún más complicado, si cabe. La observación de una cantidad incommensurable de cosas y seres, del cambio y la desaparición de unas y otros, no era el medio de conseguir un conocimiento de la naturaleza. Las culturas primitivas coincidieron en el método para superar la dificultad y llegaron a parecidas conclusiones. La especulación les permitió encontrar la solución. La idea de que las cosas y los seres fuesen compuestos, producidos mediante la asociación en distintas proporciones de un pequeño número de materia simple, llevó a plantearse el problema de la composición de la materia. La misma idea se encuentra en todas las culturas primitivas, que coincidieron además en su identificación, sustituyendo la enumeración indefinida de las cosas y los seres por la teoría de que estaban formados por un pequeño número de materias elementales sobre las cuales se ejercían influencias. Platón introdujo la palabra «elemento» para designar a cada uno de ellos; Leucipo y Demócrito hablaron de «átomos».

La generación, asociada al agua y la humedad, pudo inducir a Tales de Mileto (625-547 a. C.) a ver en el primero de estos elementos la materia primigenia, mientras que su discípulo Anaximandro (610-547 a. C.) postuló la existencia de una materia sin forma ni límites (*apeiron*) para explicar la aparición de las cosas. Un fragmento de Anaxímenes (586-526 a. C.) explica la naturaleza como la acción de una sustancia móvil y cambiante, extendida por todo el Universo, que al condensarse habría dado origen a la Tierra y el agua, en tanto el Sol y la Luna eran, sin duda, fuego, por la luz que emitían. Anaxágoras (496-428 a. C.) coincidió en la idea de una materia primitiva (magma) y realizó algunas aportaciones fundamentales: la concepción del magma como una infinidad de partículas homogéneas e inmóviles a las que una fuerza exterior (*nous*) imprimía un movimiento circular. En el siglo V, Empédocles substituyó la materia primigenia por cuatro «raíces» eternas: tierra, agua, aire y fuego, que se combinaban para crear las cosas y los seres por la acción de dos fuerzas cósmicas (divinas), que identificaba con el amor y el odio, la atracción y la repulsión. En el siglo IV a. C., Demócrito encontró una afortunada denominación para designar, al tiempo que las describía, las partículas indivisibles (átomos), que eran además inalterables e indiscernibles. El movimiento continuo que les atribuía le llevó a postular la existencia del vacío para explicar el movimiento. Al asu-

mir la descripción de Empédocles, Aristóteles identificó las citadas raíces como esencias y describió sus propiedades: el aire es fundamentalmente húmedo y subsidiariamente seco; el fuego, caliente y seco; la tierra, seca y fría; el agua, fría y húmeda. A éstas había que añadir la quinta esencia, el éter, la materia de la parte celestial del cosmos.

La influencia griega explica que los cinco elementos indios fuesen los mismos que los griegos, en tanto que en China coincidían la tierra, el agua y el fuego, no se incluía entre ellos el aire y se añadían otros dos: la madera y el metal. Entre 350 y 270 a. C. construyeron este modelo, más como la descripción de las fases del cambio, que conducen a la destrucción o a la generación, que como una definición material: el agua apaga el fuego, el fuego funde el metal, un hacha metálica corta la madera, un arado de madera abre la tierra, una presa de tierra contiene el agua. En sentido contrario, el agua produce la madera de los árboles, la madera alimenta el fuego, el fuego da lugar a la tierra (cenizas), en la tierra se genera el metal, que, al calentarse, fluye como el agua. La especulación proporcionó los elementos que componían la materia, formando los bloques para la construcción de una imagen de ella. Su diversidad se explicaba por la combinación de los elementos para formar compuestos, cuya composición variaba con la proporción de aquéllos. Era una construcción lógica, lejos de la realidad, como se descubrió al aislar nuevos elementos.

La materia informe no tiene magnitudes y sólo puede medirse a partir del aislamiento previo de una determinada cantidad de ella. Un litro de agua ocupa un volumen y tiene un peso determinado, y las medidas coinciden aunque cambiemos el orden de las magnitudes. La razón entre peso y volumen es una tercera magnitud de la materia, la densidad. Arquímedes (c. 287-282 a. C.) descubrió la propiedad, distinta para cada cuerpo, pero no estaba en condiciones de ofrecer una tabla de densidades. No había manera de identificar la composición porcentual de los cuerpos, y la experiencia descubrió que la división física mediante golpes y cortes no afectaba a las propiedades de la materia, a la naturaleza de las cosas (Aristóteles concebía la identidad de las cosas como la naturaleza, *physis*, de los cuerpos, más que con el sentido general que usamos aquí).

La *physis* era el conocimiento de la naturaleza y «las cosas naturales están sometidas al cambio», que presenta dos formas: el

cambio de naturaleza como consecuencia de la modificación de su composición y el de posición que resulta del movimiento. El primero dio origen a la alquimia, que tenía entre sus objetivos la transmutación de la materia, en concreto del plomo en oro. El documento más antiguo al respecto es la *Tabla de la esmeralda* del mítico Hermes Trismegisto. En el siglo V, Zósimo escribió *El divino arte de producir oro y plata*. Los musulmanes cultivaron la alquimia y publicaron tratados que alcanzaron notable difusión. En el siglo XIII se divulgaron por Europa los trabajos de los más famosos alquimistas, y Arnaldo de Vilanova vio condenadas sus obras por la Inquisición en Tarragona. La fama de Raimundo Lulio (1232-1315) llegó al punto de que muchos firmaron sus trabajos con su nombre, lo que explicaría los 486 títulos que se le atribuyen. Los que habían contribuido a sus experiencias se volvieron contra él cuando no obtuvieron el oro buscado, lo que contribuyó a su decadencia en el siglo XIV. La alquimia era una línea de investigación condenada al fracaso, aunque no a la desaparición, en la medida en que constituyó un paso previo a lo que denominamos «química».

Al postular la unidad del ser —«el ser es, el no ser no es»—, Parménides (siglo VI a. C.) negó la posibilidad del cambio, incluido el movimiento. Zenón de Elea (siglo V a. C.) argumentó en favor de su maestro al proponer ocho paradojas que negaban la posibilidad del movimiento de los cuerpos. Una de ellas es la de la flecha inmóvil. En un instante de tiempo, una cantidad mínima, la flecha puede estar en el punto que ocupa o en otro distinto. En el primer caso no hay movimiento y en el segundo el tiempo no es suficiente para que se produzca el cambio. Si no hay cambio en un instante tampoco puede haberlo en una sucesión de éstos, y el movimiento resultaba imposible. En el fondo, postulaba que la divisibilidad infinita del espacio implicaba la del movimiento. Aristóteles ofreció dos teorías distintas del movimiento. Una, la de la caída de los graves, se basa en la idea de que los cuerpos buscan la posición que corresponde a su naturaleza: la gravedad de la tierra y el agua, la levedad del aire y el fuego. El aumento de velocidad de los primeros al acercarse al suelo venía determinado por el deseo de alcanzar su lugar natural. La observación del lanzamiento de una piedra con la mano o por una catapulta explicaba el carácter rectilíneo, incluso ascendente, del movimiento. El impulso (*impetus*) recibido se consumía con el movimiento y al cesar se restauraba el movimiento natural.

3. Los seres vivos

El relato bíblico muestra a Adán como el primer naturalista que se ocupó de los seres vivos: «Y dio el hombre nombre a todos los ganados y a todas las aves del cielo y a todas las bestias del campo» (Génesis 2.20). La domesticación de las plantas y los animales fue un momento decisivo en el desarrollo de la humanidad, en tanto que la observación de las manifestaciones de la vida, la generación, los movimientos (voluntarios y automáticos) del cuerpo y la muerte proporcionó los medios del conocimiento científico. No hubo acuerdo sobre la definición de la vida, del mismo modo que no lo hubo con las otras manifestaciones de la energía. La separación de los animales y las plantas respondía a la capacidad o falta de movimiento propio. La clasificación de las especies no se ajusta por completo a las circunstancias del medio: hay mamíferos en la tierra y en el agua, hay pájaros e insectos en el aire. La identificación de las especies fue el primer paso, semejante a la de los cuerpos celestes; la clasificación de las especies en organizaciones superiores permitió a Aristóteles crear la «escalera de la vida», el primero de los «árboles de la vida».

El conocimiento de los seres vivos se limitó a los caracteres observables a simple vista hasta la invención, en el siglo XVII, del microscopio, en tanto que la disección permitió describir las diferentes partes del cuerpo. En las plantas se identificaron tres partes: raíz, tallo y hojas, y en los animales se distinguió a las especies por tener o no esqueleto (vertebrados e invertebrados), sangre y otros caracteres. La anatomía describe la composición de los seres vivos y la fisiología las funciones y funcionamiento de los diferentes órganos. Aristóteles atribuyó la acción de la energía a un elemento inmaterial, la *psique* (*anima* en latín), que definió como el principio de la vida, inseparable del cuerpo a la que la atribuía. La vida se manifestaba en tres tipos de seres: plantas, animales y humanos, que se distinguían por la presencia de una o más «ánimas»: la vegetativa, común a todos y que explicaba la generación, la nutrición y el crecimiento; la sensitiva, que producía las sensaciones y el movimiento propios de los animales; y la intelectiva, que generaba el conocimiento y la acción.

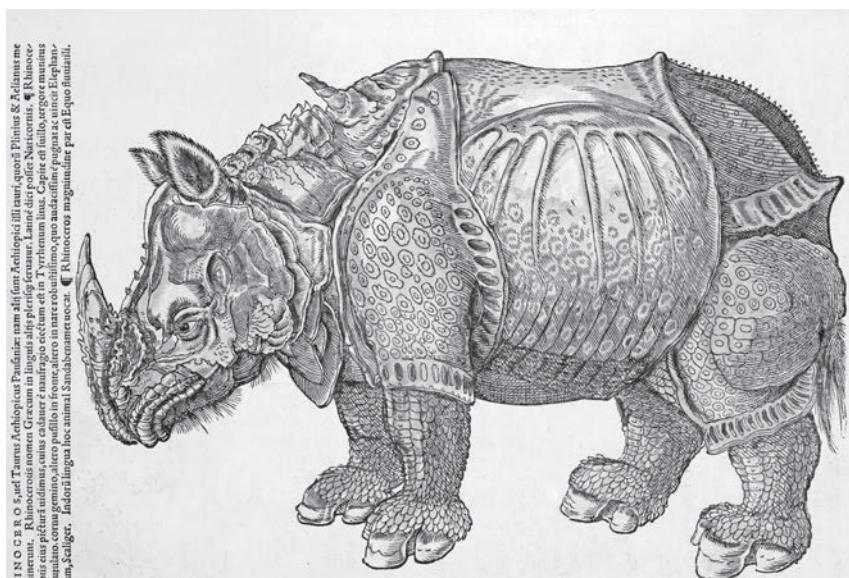
Los nombres comunes más antiguos de seres vivos se encuentran en tablillas cuneiformes, que identificaron más de 250 especies de

plantas y un número apenas menor de animales. Distinguían a los peces de los otros animales acuáticos y de los moluscos, y esbozaban un principio de clasificación basado en el medio de locomoción, que diferenciaba a las serpientes, sin patas, de los bípedos y los cuadrúpedos. La reproducción de las plantas y los animales provocó especial interés, que se manifestó en la selección de las simientes y de los ejemplares para mejorar el rendimiento de las primeras y las cualidades de los segundos. Un bajorrelieve del Museo Británico fue interpretado como una ilustración de la polinización artificial de la palma datilera, lectura posteriormente discutida.

Aristóteles es el primer naturalista cuyos textos se han conservado aparentemente, y descontando lo que significó el atravesar varias culturas e idiomas, en su literalidad. Del mismo modo que los observadores del cielo hicieron catálogos de las estrellas, Aristóteles describió 540 especies animales, en su mayoría peces, de las que había diseccionado más de 50. La identificación de esas especies le llevó a realizar una clasificación en ocho clases, que conservó su vigencia hasta el siglo XVIII, motivo por el que es considerado uno de los grandes naturalistas de la historia. La división entre animales con y sin sangre correspondía a la que hoy se establece entre vertebrados e invertebrados. Distinguió entre los primeros a los vivíparos (mamíferos) y a los ovíparos (pájaros y peces). Obras suyas como *Historia de los animales*, *De la generación de los animales* y *De las partes de los animales* fueron construidas a partir de la observación y, en bastantes casos, de la disección, lo que le permitió, por ejemplo, describir las cuatro cámaras del estómago de los rumiantes y la anatomía de los peces. La presencia de los mismos órganos en distintas especies se utilizó para la primera clasificación de los animales, y se basaba en la función de las distintas partes del cuerpo. Prestó especial atención a la reproducción: observó la evolución del huevo mediante la disección en distintos momentos de su desarrollo; descubrió que los órganos se formaban sucesivamente, en contra de la tesis de la preformación de todos ellos, que reducía dicha evolución al crecimiento. La idea de una organización progresiva de los seres vivos le llevó a concebir la citada escalera de la vida, con once niveles. Las plantas ocupaban los niveles inferiores, los animales procedentes de un huevo se encontraba en una posición intermedia y en la superior se situaban los que producían crías vivas.

Teofrasto (370-288 a. C.), discípulo y sucesor de Aristóteles en la dirección del Liceo, se dedicó al estudio de los minerales y las plantas; escribió el primer tratado que identificaba las características de aquéllos y describió más de 500 especies de plantas mediterráneas. La clasificación de este material en *De historia plantarum* respondía a criterios externos y heterogéneos: árboles, arbustos, hierbas, cereales y, en último término, aquellas que producían secreciones como la resina y la goma. Estudió la reproducción de las plantas e introdujo términos que subsisten hoy, como «carpio» para designar el fruto y «pericarpio» para la cubierta de la semilla, distinguiendo entre éstas y las que no la tenían (gimnospermas) y entre las poseedoras de uno o dos cotiledones. Analizó, asimismo, la forma en que se disponían las flores (inflorescencias) y en el último volumen del libro citado estudió la acción de las plantas en la medicina. En *De causis plantarum* describió los cambios debidos a las modificaciones en el medio y en las prácticas del cultivo.

La bibliografía griega y romana —2.000 títulos de 326 autores entre los primeros y 146 entre los segundos— proporcionó a Plinio el Viejo (23-79) el material para su gran *Historia natural*, una enciclopedia en 37 libros de gran utilidad por la riqueza de la información que contenía. Cuatro de ellos estaban dedicados a la geografía,



Rinoceronte, según Durero

dos al Mediterráneo y uno a cada continente, excluido el interior de Europa; otros cuatro a los animales, terrestres y marinos, los pájaros y los insectos; seis a las plantas y dos más a los jardines y sus flores. Las plantas medicinales ocupaban ocho libros e idéntico número dedicó el autor a los medicamentos de origen animal y mineral. Dioscórides (c. 40-90), uno de sus contemporáneos griegos, fue el iniciador de la farmacopea al describir en *De materia medica* un total de 600 plantas, sus aplicaciones terapéuticas y la preparación para su uso. En lugar de recurrir al orden alfabético habitual, organizó el material en función de sus efectos fisiológicos, que examinó en todos los casos, una práctica que llegó hasta China.

4. La especie humana

El conocimiento del cuerpo humano y de sus funciones fue objeto de un especial interés, por razones obvias: el deseo de los humanos de superar los efectos de los accidentes y curar las enfermedades que padecían. El traumatismo era una afección del organismo, consecuencia de una acción mecánica violenta: el parto, la fractura de los huesos, la amputación de un miembro. Las intervenciones más antiguas fueron la circuncisión, por prescripción religiosa para los judíos, y otras más delicadas, como la trepanación y la extirpación de cataratas. Al ser contraria a la manipulación corporal, la cultura china sufrió un retraso en su desarrollo. Se utilizaron cuchillos de obsidiana en Egipto y América, de cobre en Sumeria y Egipto en el III milenio a. C. El Código de Hammurabi (c. 1700 a. C.) contiene prescripciones para indemnizar a víctimas de la mala práctica.

Por su parte, la enfermedad es la consecuencia de una anomalía orgánica que produce trastornos en las funciones del cuerpo, patentes en forma de síntomas: fiebre, dolor, vómitos, debilidad, pérdida de apetito, etc. La causa y el tratamiento de la enfermedad requerían el conocimiento material del organismo y sus fluidos (anatomía) y el de sus funciones naturales (fisiología). El cuerpo humano no permite el acceso a su interior sin causar graves daños al sujeto, circunstancia que explica el radical rechazo de la vivisección e incluso el de la disección de cadáveres. Hasta el siglo XIX no se adquirió un conocimiento completo del cuerpo humano. Las primeras noticias anatómicas se encuentran en tabillas cuneiformes

(c. 3400 a. C.). El embalsamamiento de los faraones contribuyó al conocimiento de la anatomía y a la práctica de la cirugía. El tratado de anatomía más antiguo se encuentra en un papiro datado alrededor de 1600 a. C. que describe el corazón, el hígado, el útero y los vasos sanguíneos procedentes del primero de los órganos citados. El papiro Ebert muestra el corazón como el punto en que convergen todos los vasos por los que circulaban los fluidos: sangre, lágrimas, orina y esperma. En China, la importancia dada a las fuerzas naturales del yín y el yang no contribuyó al desarrollo de la anatomía, mientras que la acupuntura era un tratamiento polivalente basado en la idea de la existencia de un fluido energético que circulaba a través de sus propias vías (meridianos). La estimulación de los puntos de mayor concentración (acupuntos) mediante la aplicación de unas agujas metálicas pareció un remedio universal. Los textos más antiguos sobre la materia son de 600 a. C., siendo la primera intervención documentada la que se realizó en el año 16 por un carnicero en presencia del médico de la corte. A lo largo de un milenio los bandidos proporcionaron la materia prima para la ciencia y a comienzos del siglo XII se publicaron dibujos tomados durante una ejecución (*Atlas de la verdad*). Sin una base anatómica la fisiología no podía evitar la especulación.

Un papiro egipcio de alrededor del 1600 a. C. es el primer tratado que ofrece explicaciones naturales de las enfermedades y muestra especial atención al tratamiento de las heridas. De la misma época, el *ayurveda*, antiguo sistema de medicina tradicional originado en la India, describió las enfermedades y su terapéutica.

Muestra de la importancia de la medicina para las grandes culturas antiguas es que uno de sus dioses se ocupaba de la materia: Asclepio entre los griegos, Esculapio entre los romanos. A los dos se dedicaron templos, a los que acudían pacientes en busca de curación. En Grecia existían varias escuelas de medicina, que coincidían en el bajo nivel de sus conocimientos de anatomía y fisiología y en la ausencia de cualquier práctica quirúrgica. La gran figura fue Hipócrates (c. 460-370 a. C.), que pasa por ser el autor de un corpus de sesenta textos, de los que sólo cinco se consideran propiamente suyos (ninguno se ocupa de la anatomía). Al tratar de las fracturas, muestra un buen conocimiento de la inserción de los huesos; acerca de las partes blandas tenía ideas confusas, cuando no erróneas; no distinguía las venas de las arterias; creó la voz «nervio» para referir-

se al tendón, y concebía el cerebro como una glándula que producía un fluido viscoso. Uno de los autores del *corpus Hippocraticum* descubrió las válvulas del corazón, pero no pudo explicar su función. Su yerno, Polibio (siglo V a. C.), escribió uno de los tratados hipocráticos, *Sobre la naturaleza del hombre*, en el que ofreció una caracterización del individuo sobre la base de la existencia de cuatro flujos orgánicos (humores): sangre, flema, bilis negra (melancolía) y bilis amarilla (cole). Sostuvo que la influencia dominante de uno de ellos caracterizaba a las personas: sanguíneas, coléricas, flemáticas y melancólicas. El desequilibrio de los humores (discrasia) era la causa de las enfermedades, y la curación se conseguía mediante la reducción del principio dominante a través de sangrías y purgas —cuyos efectos, negativos si no mortales, sufrieron los pacientes durante dos milenios— y por el refuerzo del principio contrario: contra la fiebre debida a la bilis amarilla, cálida y seca, se prescribían baños de mar que aumentaban la flema, húmeda y fría. En el caso de un exceso de flema, el tratamiento consistía en permanecer en la cama y beber vino. Aristóteles no tuvo ocasión de practicar la disección de los cuerpos humanos, lo que explica que hiciese del corazón el órgano de la conciencia, en tanto creía que la función del cerebro era enfriar la sangre.

Médicos y cirujanos observaron la *physis* (naturaleza) de sus pacientes; algunos disecaban los cadáveres y unos pocos no se detuvieron ante la vivisección de los animales más fáciles de conseguir, como el cerdo, y de aquellos que les parecían más próximos, por ejemplo distintas especies de monos. La anatomía describía los órganos del cuerpo, y la fisiología, las funciones de cada uno de ellos. La cirugía, en concreto la trepanación, es la única técnica que ha dejado restos inequívocos de su práctica.

Cuando contemplamos la medicina antigua desde la ventajosa perspectiva de nuestros conocimientos actuales, debemos reconocer que los conocimientos biológicos, químicos y físicos disponibles hacían muy difícil ir más allá de la forma, esto es, de la anatomía. Y cuando se habla de esta rama de la medicina, aunque entretrejida con otras consideraciones, hay que dirigirse hacia Alejandría, la nueva ciudad fundada en el delta del Nilo por Alejandro Magno, y luego al mundo romano. Fue en ese entorno, todavía penetrado por la cultura griega, donde vivió un hombre cuyo nombre terminó asociándose al vocablo «médico»: Galeno de Pérgamo (129-216), una ciudad

esta situada en el noroeste de Asia Menor, que rivalizaba con Alejandría en desarrollo cultural.

Autor prolífico (parece que utilizó veinte escribientes para transcribir sus palabras), aunque muchas de sus obras se han perdido, la síntesis de la medicina que elaboró, y que dominó la historia de esta disciplina durante más de 1.500 años, estaba basada en la tradición hipocrática, en Platón y en Aristóteles. De Platón tomó la idea de la existencia de tres sistemas corporales —corazón, hígado y cerebro— conectados también a los estados mentales, y de Aristóteles el interés por la investigación práctica, iluminada por el razonamiento lógico, aunque al incardinarse éste en la teoría médica le condujese con frecuencia a confiar excesivamente en la capacidad discursiva de la razón.

En el ámbito experimental, Galeno se ocupó de muy diversas cuestiones, entre ellas las variaciones del pulso, la relación de la pérdida de sensibilidad y la parálisis con determinados nervios y con la médula espinal, o la demostración de que la orina llega a la vejiga a través de los uréteres. Ofreció, asimismo, la primera descripción de las cuatro cámaras del corazón, aunque cometió el error de suponer que la sangre retornaba por los mismos canales. Según él, la sangre procedente del hígado y el corazón circulaba por todo el cuerpo hasta consumirse en la formación de tejidos. La circulación recorría un camino único, pero la diferencia entre venas y arterias exigía que sus funciones fuesen distintas, de acuerdo con el principio de que la naturaleza no hace nada en vano. La solución que propuso al respecto suponía que las arterias llevaban sangre y la fuerza vital (*pneuma*), en tanto por las venas circulaba la sangre, y supuso la idea de la comunicación entre ambos circuitos por unos vasos invisibles (capilares).

En cuanto a sus aportaciones a la anatomía, se esforzó por unirla con la fisiología, una senda todavía poco frecuentada. A pesar de la firmeza con la que se refería a los requisitos para una buena práctica anatómica, no fue él mismo demasiado exigente en este dominio, seguramente por la dificultad (a la que también aludía) de encontrar cadáveres con los que practicar. Sabemos que aunque trabajó ocasionalmente con algunos cadáveres humanos, las fuentes de sus enseñanzas anatómicas procedieron casi exclusivamente de otros animales, sobre todo de monos. Pero su prestigio fue tan grande, el poder de sus escritos tan abrumador, que defectos como éstos tardarían casi 1.500 años en ser señalados.