





La sonrisa del átomo



JORGE BOLÍVAR

La sonrisa del átomo
y otras historias científicas
sobre el Universo



ALMUZARA

© JORGE BOLÍVAR, 2013
© EDITORIAL ALMUZARA, S.L., 2013

Primera edición: septiembre de 2013

Reservados todos los derechos. «No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea mecánico, electrónico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del *copyright*.»

Editorial Almuzara. Colección Divulgación científica
Director editorial: ANTONIO CUESTA
www.editorialalmuzara.com
pedidos@editorialalmuzara.com info@editorialalmuzara.com

Imprime: LINCE ARTES GRÁFICAS
ISBN: 978-84-15828-59-4
Depósito Legal: CO-1520-2013
Hecho e impreso en España-*Made and printed in Spain*

He aquí el mayor secreto que nadie conoce,
he aquí la raíz de la raíz
y el brote del brote
y el cielo del cielo
de un árbol llamado vida
que crece más de lo que
el alma puede esperar o la mente ocultar,
es la maravilla que mantiene las estrellas separadas.

Edward Estlin Cummings, *95 poems* (1958).



<i>Introducción: el alba de la inteligencia</i>	11
I. CONTADORES DE ARENA Y VELOCIDAD DE LA LUZ	21
La brillantez griega.....	21
Muchos siglos de sequía.....	30
El renacimiento científico	32
Newton y el desvelamiento de las leyes del universo.....	39
Los átomos y la unificación electromagnética.....	42
Todo es relativo (físicamente hablando).....	48
Disparando contra astronautas.....	61
Partículas esquizofrénicas: la mecánica cuántica	70
II. EL GRAN DESTELLO	81
El cosmos creciente.....	81
Tres minutos sorprendentes y un gran aburrimiento después	84
Nacen las galaxias	89
¡Bienvenidas, estrellas!	96
Incrédulos del <i>big bang</i>	115
La inflación y la mano de Dios.....	119
Otra materia, otra energía	124
Aumentando la complejidad	129
Nuestro modelo provisional del universo	133
III. DE LO MÁS GRANDE A LO MÁS PEQUEÑO	139
El misterio del electrón inestable	140
Vuelta y vuelta: el espín y el número cuántico.....	147
Ya es posible la química más allá del amor	156
Partículas dentro de partículas.....	163
Cuatro magnitudes para cuatro fuerzas	177
Un esquema para el mundo atómico.....	182
IV. BUSCANDO LA UNIFICACIÓN DESESPERADAMENTE	195
La suerte de poseer simetrías.....	195
Un quebradero de cabeza gravitatorio	202
¡Destrocemos nuestros metros y kilómetros!.....	212
El germen de su propia destrucción.....	218
Tendiendo redes para capturar agujeros.....	228
Negro tirando a marrón fuerte tirando a gris oscuro	236
<i>Wake up, little SUSY</i>	245
El universo está hecho con tiras de goma.....	252
Vamos a desenredar un gran ovillo cósmico	268
¿De verdad es posible la unificación?.....	276

V. EL FUTURO: LA HORRIPILANTE SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA	283
Una silla de montar sobre la que cabalgamos	284
Imposible escapar del caos	291
La casa a la medida del hombre.....	300
El universo va y viene.....	304
Mirando lo que creíamos imposible ver	312
Una cápsula de tiempo para atravesar la singularidad.....	323
Le ganamos la partida a la entropía.....	330
<i>Agradecimientos y bibliografía comentada.....</i>	<i>337</i>

Introducción: el alba de la inteligencia

Los seres humanos nos consideramos, con un orgullo indisimulado, la única especie inteligente de la naturaleza. Esta afirmación es a todas luces verdadera, por mucho que a veces estemos tentados de dudar de ella cuando valoramos con decepción algunos aspectos de nuestra conducta. Pero lo cierto es que, hasta que encontremos, si las hallamos, otras civilizaciones agazapadas en alguna constelación lejana, somos los exclusivos depositarios de esa maravillosa cualidad que es el pensamiento razonado, que paradójicamente utilizamos incluso para hacer cosas absurdas. Aunque, como en todo, puede que haya quien no esté de acuerdo. ¿Podemos considerar inteligentes a seres como los chimpancés o los delfines? La eterna cuestión de qué diferencia al hombre del resto de los animales ha centrado las vidas de muchos pensadores a lo largo de la historia, y aún no se ha alcanzado un consenso claro.^[1] Pero son cada vez más los estudiosos que creen que existen dos características exclusivas del ser humano y por ende íntimamente relacionadas entre ellas: *la capacidad de buscar respuestas a cuestiones abstractas, y el placer estético*. Es decir, la ciencia, la filosofía y el arte es lo que nos hace personas y lo que nos distingue en último término de nuestros parientes animales. El impulso de saber, de responder a un «por qué», es el arranque de lo que conocemos como ciencia. Y la ciencia es un producto *específicamente* humano.

1 Utilizo el término «hombre» en su significado biológico que abarca a la especie humana, y no en un sentido de género sexual. Lamento que el lenguaje siga conservando tantas convenciones machistas.

Desde los primeros «por qué» hasta que la ciencia naciera como tal hubo de pasar algún tiempo. La investigación científica, por elemental que sea, depende de las herramientas disponibles, y el ser humano durante muchísimos años no dispuso más que de las herramientas que le otorgó la naturaleza: sus cinco sentidos. Y otro sentido, el sentido común, que es el más importante para analizar los datos. Pero la recogida de esos datos se ha limitado, durante la mayor parte de la historia, a lo que nos proporcionaban nuestros ojos, nuestros oídos, nuestro tacto, nuestro gusto y nuestro olfato. Poco más que eso. O sea, que hacerse la pregunta no presupone una capacidad inmediata de hallar la respuesta. El avance científico va unido a la tecnología y dependen mutuamente entre sí. Pero muestran una diferencia básica: la tecnología percibe las relaciones causa-efecto y logra diseñar *causas* para lograr *efectos* esperados. Sin embargo, no pretende explicar las razones de tales causa-efecto: ello es la labor de la investigación científica. Y podemos estar razonablemente satisfechos de lo que como especie hemos conseguido. Hoy sabemos bastante de cómo llegamos a estar aquí, de cómo apareció lo que existe, de qué proceso siguió en su desarrollo, de cuál será el futuro de nuestro entorno físico, de los mecanismos que rigen la estructura de la materia y de la energía. Aún quedan muchos misterios, muchos puntos sobre los que seguir trabajando, pero nunca el ser humano ha alcanzado un conocimiento del universo tan avanzado como ahora. Tanto, que la ciencia ha aclarado con respuestas certeras muchos de los grandes asuntos que antes eran patrimonio casi exclusivo de la filosofía o la religión.

Porque ocurre que llegar a la actual comprensión del cosmos y de nosotros mismos no ha sido fácil, y antes del desarrollo científico hubo que recurrir a lo que los antropólogos han dado en llamar pensamiento mágico y pensamiento religioso. Todos nosotros nos hemos planteado cuestiones abstractas a las que no hemos sabido responder, y lo que solemos hacer en esos casos, arropados por nuestro mundo relativamente seguro y confortable, es dejar de calentarnos la cabeza y olvidarnos de ellas al cabo de un momento. Pero cuando se vive en el tiempo hostil de hace decenas de miles de años, rodeado de animales que desean devorarlo a uno, de inclemencias meteorológicas terribles, de

difícil acceso a la comida o de enfermedades que pueden acabar contigo en un suspiro, la cosa cambia. Para el ser humano primitivo, responder a los «por qué» podía suponer una mejora de sus condiciones vitales y por tanto se trataba de una cuestión de vida o muerte.

Dotados de la capacidad de abstracción, nuestros antepasados se planteaban sus interrogantes sobre la naturaleza llevados por el impulso de comprender un entorno del que dependía estrechamente su supervivencia. Su fuerte necesidad de categorizar el mundo *y de controlarlo en su beneficio* fue lo que dio lugar a la primera forma de intelectualización humana, conocida como pensamiento mágico. Ante la falta de la tecnología adecuada para desarrollar experimentos y entender lo que le rodeaba, pero incapaz asimismo de arrojarse en brazos de un azar que le amenaza con muerte y sufrimiento, el hombre primitivo desarrolló una construcción mental en la que las fuerzas de la naturaleza recibían *atributos humanos*, lo que las hacía por lo tanto más cercanas y reconocibles. Personificaron esas fuerzas naturales ante las que estaban inermes con atributos ampliados de sí mismos, primero de forma abstracta y luego con la adjudicación directa a espíritus imprecisos que controlaban esos acontecimientos. Y, esto es fundamental, al humanizarlas se siente capaz de interactuar con ellas, ya que lo que tiene espíritu es susceptible de comunicación y de ser influenciado.

Para entender mejor este proceso podemos poner el ejemplo de la pintura rupestre. En España tenemos la inmensa suerte de poseer las muestras de arte prehistórico más importantes del planeta. Entre ellas están las increíbles pinturas de Altamira, que datan de hace unos 35.000 años y representan figuras humanas y sobre todo animales. Su perfección artística hace pensar que existía una tradición previa y que por tanto el ser humano pintaba desde mucho antes. Los ejemplos más antiguos de pinturas prehistóricas que se conocen en el mundo están también en España, concretamente en la cueva malagueña de Nerja. Allí, en fecha tan reciente como la primavera del 2012, un equipo de la Universidad de Córdoba, dirigido por José Luis Sanchidrián y formado por expertos en dataciones de uranio-torio, ha cifrado en al menos 42.000 años unas pinturas que representan peces

y focas y que además pudieron ser realizadas no por el *Homo sapiens*, sino por neandertales. Incluso hay dudas de si alguna mano neandertal participó en los dibujos de Altamira.

Casi todos los especialistas están de acuerdo en afirmar que el hombre prehistórico pintaba con la finalidad de invocar la caza. En la época en que nació el arte, Europa vivía la última glaciación y los grupos humanos tuvieron que desplazarse cada vez más al sur huyendo del frío. Aún así, en la Península Ibérica el clima entonces era similar al que padecen ahora en las estepas de Escandinavia. La caza de animales, sobre todo del bisonte y del oso, suponía el principal medio de subsistencia, pero escaseaban los ejemplares y el hambre hacía estragos entre nuestros antepasados. Impulsados por la absoluta necesidad de lograr presas para sobrevivir, llegaron a elaborar un mundo mental en el que los animales dependían de un espíritu poderoso, y representarlos en las paredes de las cuevas no era otra cosa más que un rito mágico para favorecer que el espíritu accediera a facilitarles su caza. De hecho, muchas escenas muestran no sólo a los animales sino también a los cazadores en acción, lo que equivale a la suposición de que pintar la escena la haría mucho más posible en el mundo real. Muchos antropólogos creen factible que estos ritos pictóricos estuvieran acompañados por cánticos, música o otras formas complejas de expresión, y se han localizado pinturas en zonas de difícil acceso que por su estructura y disposición se consideran santuarios. En Jura de Suabia, Alemania, se han encontrado instrumentos musicales, concretamente flautas talladas en huesos de mamut, de más de 40.000 años de antigüedad, y también figuras que se suponen amuletos utilizados en estos rituales.

Es difícil establecer con exactitud cuándo surgió el pensamiento mágico. Sin duda los *Homo sapiens* antiguos lo desarrollaron, y los neandertales también. Pero hay indicios no comprobados de que pudiera ser muy anterior. En cualquier caso el pensamiento mágico fue un producto bastante temprano de la humanidad. Y es mejor no menospreciar su importancia: supone un avance esencial del hombre en su lucha por entender el mundo. Para ser elaborado el pensamiento mágico requiere de tres mecanismos que exigen un alto índice de abstracción.

En primer lugar necesita de la capacidad *de ser global*, es decir, de concebir un todo por encima de la realidad física de las cosas. En segundo lugar, exige una reflexión al menos intuitiva sobre los conceptos de *apariencia y de esencia*. Por último, equivale a desplazar, mentalmente, los atributos humanos a lo sobrenatural mediante principios *de semejanza* (las fuerzas dependen de seres similares a mí, aunque más poderosos) y *de proximidad* (son accesibles mediante ritos y podemos influir en ellos). El pensamiento mágico ha sido clave en el devenir de la humanidad e incluso hoy día se sigue insistiendo en su importancia durante el desarrollo mental de la infancia. Por ejemplo, Eugène Subbotsky, un psicólogo de la Universidad de Lancaster, ha demostrado recientemente que el pensamiento mágico estimula la creatividad de los niños de entre cuatro y ocho años. En esa edad todos nos comportamos un poco como hombres primitivos, y elaboramos conceptos basados en las mismas estructuras mentales de nuestros remotos antepasados. En el experimento de Subbotsky, los niños participantes, al ser estimulados en la creencia del poder de los amuletos, de la influencia de nuestra mente para realizar acciones o de la validez de personalizar las fuerzas naturales, mostraron después una mayor capacidad para elaborar teorías creativas (y más racionales) sobre el mundo. Y al menos en este sentido debe ser cierto que nunca dejamos del todo de ser niños, porque las supersticiones nos acompañan la vida entera. Seguimos aplicando el pensamiento mágico cuando tememos que nuestro equipo de fútbol pierda el partido porque nos hemos olvidado en casa la bufanda-amuleto con los colores del club, cuando cruzamos los dedos porque deseamos que algo no ocurra, o cuando vemos una escalera de mano apoyada en la pared y damos un rodeo para no pasar por debajo de ella.

El escalón posterior alcanzado por la humanidad tras el pensamiento mágico resulta bastante natural: se llega al pensamiento religioso. La religión no es más que una ordenación muy compleja de los conceptos que subyacen en el pensamiento mágico. Pero requiere unas condiciones muy diferentes, que se pueden resumir en la palabra civilización. El hombre ya no otorga atributos humanos a las fuerzas que controlan la naturaleza, sino que directamente las personifica, las convierte en seres

concretos similares a nosotros. Sin ánimo de ser irreverente, lo que nos dice la historia es que el hombre creó a los dioses, no los dioses a los hombres. Pero el pensamiento religioso implica inventar una cosmogonía, es decir una historia del mundo completa, así como llenarla de valores morales. Es lo que se llama *una doctrina*, y además hay que poder trasmitirla, lo que requiere una escritura o al menos una amplia capacidad de transmisión oral con un lenguaje muy desarrollado y lleno de conceptos abstractos. Pasar del pensamiento mágico al religioso supone también *la ordenación de los ritos*, que ahora corren a cargo de personas concretas provistas de una especial conexión con los dioses, los sacerdotes, y de lugares específicamente dedicados al ritual, los templos. Todo ello nos habla de que el pensamiento religioso se desarrolló a las puertas de la civilización, entendida ésta como una estructura social compleja y dependiente de la tecnología que mantiene fórmulas culturales de convivencia. Y aquí hallamos las tres diferencias esenciales con el pensamiento mágico. Primera: la religión otorga una explicación *total* del mundo, ofreciendo respuestas concretas a los mayores misterios vitales. Segunda: el pensamiento religioso, a través de la fijación de los ritos, arrastra el surgimiento de unos *valores morales complejos* y socialmente reconocidos como necesarios, que implican algún tipo de castigo para quienes nos los cumplan. Tercera: la aparición del chamán o sacerdote conlleva *la ruptura de la igualdad social*, en principio no en el sentido económico, sino de especialización de un sector pequeño de la población en la importante tarea de la comunicación con los dioses, lo que supone un mayor nivel de poder o influencia sobre el resto del colectivo.

O sea que sin civilización no podría existir el pensamiento religioso, pero también ha ocurrido lo contrario: el pensamiento religioso ha sido uno de los más potentes motores de la civilización humana. De hecho, todas las primeras culturas conocidas surgieron envueltas en el halo de la religión. Hace unos 12.000 años algunos grupos de *Homo sapiens* nómadas empiezan a cultivar la tierra, así que poco a poco se hacen sedentarios, apareciendo aldeas permanentes que al aumentar la población darán lugar a las primeras ciudades. Un grupo mayoritario de prehistoriadores consideran que los habitantes de esas aldeas levantaron

pronto santuarios dedicados a los rituales religiosos, en realidad los edificios más importantes en ellas, y que fue la presencia de los templos lo que fue atrayendo población y aumentando la riqueza para ir evolucionando hacia verdaderas ciudades, por muy pequeñas que ahora nos puedan parecer en comparación con las nuestras. Este proceso del centro religioso como impulsor de la civilización está muy bien documentado en el caso, posterior en el tiempo, de la América precolombina, y hay muchos indicios para considerar que algo similar sucedió mucho antes en todo el mundo. Hace 5.500 años se constata ya la existencia de civilizaciones perfectamente establecidas en China, el Valle del Indo, Mesopotamia y las riberas del río Nilo, en Egipto. Y, curiosamente, en todos los casos tanto la arquitectura como los primeros documentos escritos apuntan a la religión como la base de la estructura social. En el Antiguo Egipto, el faraón es considerado un dios encarnado, y las creencias religiosas impregnan todos los aspectos de la vida y el pensamiento. Algo parecido ocurre en Mesopotamia y en China, y también se supone que fue así en el caso del Valle del Indo, porque se ha descubierto que los centros ceremoniales estaban ubicados dentro del palacio en el corazón de las ciudades (pero no tenemos la certeza absoluta ya que, por desgracia, la escritura de esa cultura no ha podido ser todavía descifrada por los lingüistas). Así que podemos decir que las cuatro grandes primeras civilizaciones humanas nacieron bajo la influencia decisiva de la religión, que justificaba la jerarquización de la sociedad y guiaba sus valores morales. Evidencias maravillosas de esa influencia del pensamiento religioso en la formación de la civilización humana no son sólo los restos arqueológicos más evidentes, como las pirámides egipcias o la escultura sumeria, sino también la propia literatura, cuyo nacimiento está marcado por las grandes epopeyas cosmológicas que narran la creación y evolución de mundo de la mano de dioses míticos, a veces con aspecto mezclado entre hombre y animal, pero con comportamientos muy humanizados. Ejemplos de estas epopeyas son el *Poema de Gilgamesh* mesopotámico, la primera narración escrita de la historia, que cuenta la aventuras del rey-dios Gilgamesh en su búsqueda de la inmortalidad batiéndose con dioses o semidioses en el mismo infierno, o el

Ramayana hindú, donde el rey mítico logra vencer a las criaturas del mal con su ejército de monos (pero la historia tiene además un fuerte componente sexual, no es extraño que el *Kamasutra* se escribiera también en la India). Los textos no literarios, aún más antiguos que las epopeyas, como los «Vedas» sánscritos o el *Libro de los Muertos* egipcio, están dedicados a la relación entre los hombres y los dioses, y a la descripción de rituales religiosos. La propia *Biblia* es en realidad una mezcla de epopeya y texto místico, muy avanzado conceptualmente porque incluye por primera vez la existencia de un Dios único^[2].

Todos estos libros nos revelan caracteres comunes del pensamiento religioso. En primer lugar, los dioses son no-creados y eternos en algunos casos porque no pueden morir, pero aunque poseen poderes muy superiores a las personas su voluntad se dirige por motivaciones similares a las humanas; tienen nombre y aspecto identificable, e interactúan de forma habitual con nosotros. Las doctrinas religiosas imponen unas reglas de conducta que conllevan mecanismos de castigo y recompensa. Garantizan la existencia futura en base a los méritos adquiridos, lo que es muy tranquilizador porque vencer a la muerte ya será cosa nuestra, dependerá de cómo nos portemos. Y, lo que es fundamental para el tema que tratamos, ofrecen una explicación global de la historia y del mundo, respondiendo a todos los «porqués» que podamos preguntarnos. Por ejemplo, todas las religiones narran un génesis o nacimiento del cosmos, en unos casos con aspectos más imaginativos o elaborados que en otras. Así, frente a la creación bíblica en seis días del universo y los seres vivos, los bantúes de Camerún consideran que el mundo surgió de las náuseas del dios eterno Bumba, que tras sentirse indispuerto vomitó primero el sol, y a continuación la luna y las estrellas. Del tercer vómito resultó la aparición de los nueve primeros animales, un leopardo, un águila, un cocodrilo, un pez, una tortuga, un conejo, una garza, un cabrito y un escarabajo.

2 En realidad hay un precedente del monoteísmo, la época de Amarna en Egipto, donde el rey Akenatón insistía en reconocer a Ra, el Sol, como único dios. Pero la idea era tan revolucionaria en su tiempo que el intento de imponer el culto exclusivo a Ra le costó el trono y parece que también la vida, ya que se cree que fue asesinado por un grupo de sacerdotes devotos de otros dioses.

Al fin, en su cuarta náusea Bumba regurgitó al hombre, millones de ellos, sólo uno blanco como él, llamado Yoko Lima, y el resto negros porque fueron vomitados por la noche. No sé a ustedes, pero a mí no me entusiasma que mi existencia se deba a la náusea involuntaria de un dios.

El pensamiento religioso ha imperado durante la mayor parte de nuestra existencia como civilización y posiblemente seguirá vivo durante mucho tiempo, pese al surgimiento en la Grecia clásica del pensamiento racional. Tampoco hay una ruptura explícita: los egipcios, sumerios y chinos lograron un notable avance científico en terrenos como las matemáticas, la astronomía o la medicina. En realidad, en nuestra cultura continúan conviviendo elementos de las tres estructuras mentales, mágica, religiosa y racional, que han ido marcando los intentos del hombre por comprender el mundo en que habita. Pero la clave está en que el pensamiento racional que nos dejó la civilización helénica eleva la situación del hombre, que se siente liberado de los dioses y se ve capaz de llegar a las explicaciones de las cosas por sí mismo, con el simple poder de su raciocinio y de un método concreto basado en la observación experimental. Y esto es lo que nos lleva directos al primer capítulo de este libro.



I. CONTADORES DE ARENA Y VELOCIDAD DE LA LUZ

Desde la aparición del pensamiento racional hasta llegar a la actual comprensión del cosmos y de nosotros mismos se ha recorrido un camino larguísimo y no siempre en línea recta: la historia de la ciencia está llena de retrocesos o de periodos en los que apenas se avanzó nada. Pero, al mismo tiempo, el ansia de saber ha producido espectaculares resultados en breves épocas de tiempo, una especie de estallidos intelectuales que han ido iluminando la civilización humana. Lo que vamos a hacer a continuación es recorrer ese camino de la historia de la ciencia. Por fortuna no hace falta que lo andemos por completo, serían necesarios miles de libros. Nos vamos a centrar en los momentos más importantes y en las construcciones científicas que elevaron de forma espléndida el nivel de nuestros conocimientos. Y si al oír esto de «historia de la ciencia» han tenido la pulsión de saltarse el capítulo y pasar directamente al mucho más impactante *big bang* del que hablaremos después, por favor, no lo hagan. Para comprender el resto del libro les vendrá muy bien conocer los fundamentos y las teorías que se van a exponer en las próximas páginas.

LA BRILLANTEZ GRIEGA

A los historiadores les gusta decir que pueden dar un lugar concreto para el nacimiento de la ciencia, la ciudad de Mileto, que antes era griega y actualmente está en Turquía, e incluso una

fecha exacta, el año 585 antes de Cristo. Esto no es rigurosamente cierto y se trata más bien de un juego de sabihondos, pero la elección del lugar y la fecha se refiere a que allí y entonces tuvo lugar la primera predicción científica de la humanidad, la de un eclipse solar. El autor de tal hazaña fue un individuo llamado Tales, y para no dejarlo sólo con tan corto nombre se le conoce habitualmente como Tales de Mileto, en referencia a la ciudad en la que trabajó y vivió. Por supuesto, Tales está también considerado el primer científico de la historia, así como el padre de la geometría y la filosofía. Muchas medallas para un solo pecho, pero es que Tales se las merece. Ya en su época fue reconocido como un hombre sabio y se convirtió en consejero de los reyes de Jonia y de Lidia. El gran mérito de Tales de Mileto fue rechazar la idea de que las doctrinas religiosas pudieran explicar el mundo. En su tiempo los griegos seguían creyendo en los mitos y dioses heredados de los tiempos heroicos de Homero, con Zeus y compañía siempre enzarzados en eternas disputas en el Olimpo, disputas que marcaban el origen y devenir de la naturaleza. Pero según explicaba Tales a todos los que querían escucharlo, el razonamiento lógico era el único camino verdadero. Posiblemente llegó a esta conclusión gracias a su pasión por la geometría, cuyos fundamentos aprendió de los antiguos egipcios durante una estancia en Menfis y Dióspolis. Tales comprobó que los resultados en la geometría dependían de la observación y la deducción, y quiso aplicar el mismo sistema a todas las ramas del conocimiento.

Sus primeras aportaciones concretas fueron el teorema que lleva su nombre y que indica que un triángulo que tiene por lado el diámetro de la circunferencia que lo circunscribe es un triángulo rectángulo (todos lo hemos estudiado en la escuela), y señalar la división del año en cuatro estaciones y 365 días como la más adecuada al ritmo de los astros (aunque no le hicieron caso hasta mucho después). También mejoró las técnicas de navegación basándose en sus mediciones de las posiciones de las estrellas y predijo, como hemos dicho, aquel eclipse solar que se considera el primer acto de verificación científica de la historia. No sólo lo predijo sino que explicó correctamente las causas, algo que dejó todavía más perplejos a sus conciudadanos. Pero

Tales llegó aún más lejos: intentó indagar en el principio íntimo de todo lo que existe buscando lo que era común, es decir, la sustancia que rige el origen y promueve los hechos. Para él, esta sustancia última era el agua, ya que contemplaba que la humedad está presente en todos los fenómenos naturales. Nos puede parecer una deducción más o menos acertada, pero fue la primera vez que alguien intentó explicar la naturaleza sin recurrir a los dioses.

Algunos testimonios indican que Tales de Mileto fue tutor de Pitágoras, y resulta una imagen agradable ese pasar de sabio a sabio por línea directa. Pitágoras, por influencia de Tales, se dedicó sobre todo a la geometría, pero la aplicó a la descripción de la naturaleza mucho más allá que su maestro. En el año 518 antes de Cristo fundó una escuela filosófica en la ciudad de Crotona que rápidamente alcanzó enorme fama: aspirantes de toda Grecia llegaron para estudiar en ella, aunque al parecer sólo 300, tanto hombres como mujeres, fueron admitidos. Esta escuela funcionaba más bien como una especie de sociedad místico-secreta, con normas de vida que debían ser llevadas estrictamente por sus componentes, los cuales decidieron llamarse a sí mismos matematikoi, derivado de la palabra griega μάθημα (leída «mátema»), que significa «conocimiento». Etimológicamente, por tanto, matemático se traduce como «seguidor del conocimiento». Así que ya saben dónde y cómo se considera que tomaron las matemáticas su nombre. Para Pitágoras, el agua no era la sustancia última del universo, sino que este honor correspondía a los números. Según su hipótesis, todo lo que existe puede ser descrito mediante un conjunto de cifras, así que la realidad es de naturaleza matemática. Defendía la eternidad de los números y por tanto la del alma humana, que al morir el cuerpo se trasmataba en un animal. Comparó el cosmos con una danza de astros regida por melodías aritméticas y demostró que los planetas y las estrellas se mueven en órbitas que él llamó «esferas celestes». La vida surgía por la interacción entre los números y el fuego, que dotaba de energía vital a las construcciones matemáticas preexistentes.

La huella de Pitágoras ha sido, y sigue siendo en nuestros días, inmensa. La ciencia actual parece confirmar que la realidad

tiene efectivamente un carácter matemático. Su pensamiento perduró gracias a las escuelas pitagóricas que a semejanza de la original de Cretona se extendieron por toda Grecia, y de esas escuelas salieron algunos de los científicos más brillantes de la Grecia clásica. Uno de los alumnos pitagóricos fue, por ejemplo, Parménides, a quien se le llamó en su época el φυσικός (leído «físicós»), que significa «observador de la naturaleza», y que fue el primero en asegurar que la Tierra era esférica, aunque algunos expertos creen que tomó esta idea de Pitágoras. Parménides, además, defendía propuestas tan avanzadas como la estructura homogénea del cosmos, regido por tanto por los mismos principios en cualquier punto pese a presentar diferencias entre sus partes. También postuló que el vacío no existe, pues la realidad es una y no puede ser discontinua. En esto se oponía a los pitagóricos estrictos, que consideraban que el vacío era necesario para mantener la individualidad de los números.



Óleo del pintor ruso Fyodor Andreyevich Bronnikov, (Shadrinsk , 1827 - Roma, 1902), que representa a un grupo de pitagóricos celebrando la salida del sol. La escuela pitagórica estaba formada básicamente por astrónomos, músicos, matemáticos y filósofos, que propugnaban que todas las cosas son, en esencia, números; y como tales pueden ser estudiadas e interpretadas.

En realidad, la genialidad del pensamiento en la Grecia presocrática dejó fijadas para la posteridad todas las concepciones del universo que los hombres hemos ido estudiando a lo largo de los veinticinco siglos siguientes. Así, tenemos el cosmos inmutable y estático de Parménides («Lo que es, lo es en su estado, así queda extinguido todo nacimiento y cambio»), el universo en eterno movimiento de Heráclito («Todo fluye»), o los universos cíclicos de Empédocles («Es inaudito que lo existente pueda ser aniquilado, sólo puede volver a renacer»). Y también tenemos una teoría prematura del *big bang* debida a Anaxágoras («En el origen todas las cosas estaban juntas, siendo infinitas tanto en su cantidad como en su pequeñez»), o la percepción del caos como generador de estructuras gracias a Demócrito (««Todo lo que existe en el universo es fruto del azar y de la necesidad»). Hasta la primera teoría atómica nació en Grecia, debida también a Demócrito junto a su maestro Leucipo, quienes insistieron en que la materia está formada por unas entidades pequeñísimas y primordiales a las que bautizaron como átomos (*ἄτομον*, leído «átomon», en griego significa «sin partes» o «indivisible», así que a la luz de nuestra ciencia actual el nombre no es muy afortunado, porque ahora sabemos que los átomos están compuestos por partículas aún más pequeñas y sí son divisibles). Por supuesto todas estas conclusiones no tenían ningún origen experimental, sino que fueron consecuencias de razonamientos lógicos de alto nivel, sorprendentes por la rapidez con que evolucionaron y la riqueza y profundidad que alcanzaron. No conozco a nadie que haya estudiado la Antigua Grecia y no se haya quedado perdidamente enamorado de esta época de la humanidad, porque de ella arranca, sencillamente, el hilo de la cultura occidental que sigue vigente hasta nuestros días.

Y llegamos de lleno al esplendor de la Atenas clásica. Esta época supone la primera de las explosiones intelectuales que comentaba al principio de este capítulo. En poco más de cien años los límites del saber humano se ensancharon de forma exponencial y la ciencia estableció métodos y aciertos que perduran hasta hoy. El iniciador de la escuela ateniense fue Sócrates, que es una figura clave de la filosofía más que de la ciencia, aunque su gran aportación fue divulgar a los cuatro vientos, con gran

éxito por cierto, que la deducción lógica era el único camino hacia la verdad, y por tanto se atrevió a rechazar expresamente la religión como vía válida de conocimiento. Ello le supuso ser sometido a un juicio en el año 399 antes de Cristo bajo las acusaciones de despreciar a los dioses y corromper la moral de la juventud, juicio en el que fue condenado a muerte por un tribunal formado por prohombres atenienses. Envenenado con cicuta, Sócrates inauguró la triste (y larga) lista de las víctimas de la intolerancia religiosa contra la ciencia.

Por suerte dejó numerosos discípulos, el más brillante de los cuales fue Platón. Platón estudió directamente con Sócrates y, como éste, se centró en la filosofía, desarrollando su teoría del mundo de las ideas. Según Platón, la naturaleza existe como un simple reflejo de una realidad superior y perfecta, un mundo en el que las ideas puras toman formas concretas y definitivas. Llevó a tal punto su confianza en la razón que defendía que no podemos fiarnos de los sentidos, sino sólo de la lógica, para llegar al conocimiento de la realidad. Esta postura conllevaba la negación de la validez de la ciencia experimental. Curiosamente, Platón ha llegado a nuestros días sobre todo gracias al cristianismo, que abrazó con entusiasmo el mundo perfecto de las ideas identificándolo con la mente de Dios.

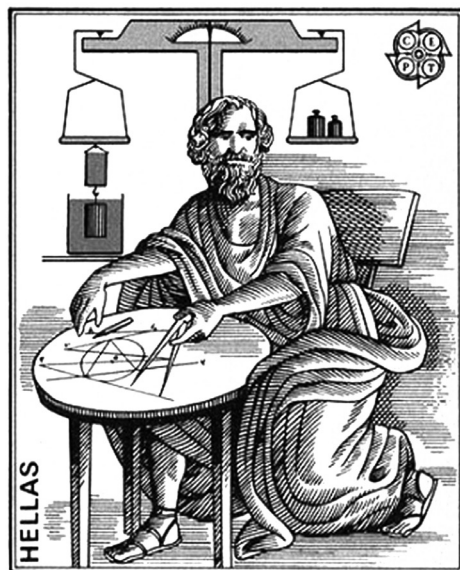
Pero si Platón no fue un hombre de ciencia, sino más bien lo contrario, su discípulo Aristóteles está considerado el padre de la lógica, del método científico moderno y de la biología. Aristóteles escribió más de doscientos tratados y revolucionó prácticamente todas las áreas a las que se dedicó, incluidas la astronomía y la física. Comenzó traicionando a su maestro y criticó duramente las ideas de Platón, defendiendo que los sentidos son tan útiles para conocer la naturaleza como la razón, puesto que no existe un mundo de las ideas, sino sólo un mundo sensible. Mientras los presocráticos miraban la ciencia con ojos de filósofos, Aristóteles creó de alguna manera la figura del científico profesional. Desarrolló las herramientas lógicas que debía seguir el investigador, dando origen a los conceptos modernos de empirismo, experimentación y teorías explicativas de los hechos observados. Como astrónomo, fue el primero en presentar una descripción completa del cosmos, diseñando un modelo

en el que la Tierra está en el centro y el Sol y los demás objetos celestes giran en torno a ella siguiendo exclusivamente leyes físicas basadas en proporciones geométricas (modelo que será aceptado y permanecerá casi sin cambios hasta el siglo XVI). Por último, no quiero dejar pasar la contribución de Aristóteles a la biología. A lo largo de su vida clasificó y describió unas 520 especies de animales y plantas según criterios científicos; y llegó más allá, definiendo el alma como el origen de la vida. Según él, todo lo vivo lo es gracias a poseer un alma, porque el cuerpo en sí mismo resulta inanimado. Se trata de la primera vez que se explica por qué hay cosas vivas y otras inertes sin recurrir a la teología. Pero Aristóteles dejó claro que alma y cuerpo no son dos realidades diferentes, sino que componen una misma sustancia, rechazando así la idea de la inmortalidad y pidiendo a los hombres que aceptaran que la muerte supone el fin de su existencia. Un paso fundamental, sin duda, en la concepción de uno mismo.

En realidad, la importancia del pensamiento en la época dorada de Atenas estuvo, más que en sus aportaciones prácticas, en la difusión de un criterio científico que se enfrentaba abiertamente a la religión y centraba las esperanzas del conocimiento en las capacidades unidas de la observación de los fenómenos y de una teoría lógica que los explicara, teoría que debía derivarse del raciocinio humano. Los frutos de esta postura se vieron en los decenios siguientes, con una verdadera eclosión de hombres dedicados a la comprensión racional de la naturaleza. Uno de estos personajes claves fue Arquímedes de Siracusa. Matemático, físico, ingeniero, óptico, inventor y astrónomo, es posiblemente el mayor de los científicos de la Antigua Grecia. Describió las razones de numerosos fenómenos, como la palanca o la flotabilidad de los barcos, logró medir con exactitud el diámetro del Sol, fijó el concepto de densidad de los objetos materiales, y posiblemente diseñó también los engranajes diferenciales, construidos todavía hoy día bajo los principios que estableció y que se emplean por ejemplo en los sistemas de dirección de nuestros automóviles. Pero sus trabajos realmente más acertados tuvieron lugar en el ámbito de las matemáticas. Arquímedes se enfrentó por primera vez en la historia al problema de los grandes núme-

ros, desarrolló el cálculo infinitesimal y las ecuaciones diofánticas, dando lugar al álgebra, que siglos después llegaría a Europa de la mano de los árabes. Calculó con tanta exactitud el valor del número Pi, ése cuyos decimales nunca se acaban y que establece la relación entre la longitud de una circunferencia y su diámetro, que los resultados de sus ecuaciones se siguen usando aún hoy en cálculos físicos, y de paso demostró que es una de las constantes matemáticas más importantes en el mundo natural. Y escribió un libro llamado *El contador de arena*, que por fortuna ha llegado íntegro hasta nosotros, en el que plantea al rey Gelón II de Siracusa la posibilidad de calcular cuántos granos de arena caben en todo el universo.

EUROPA CEPT 1983



HELLAS

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ 80

Sello postal griego del año 1983, la obra lleva por título *La ilustración de Arquímedes* y representa al genio de Siracusa trabajando con un compás sobre una mesa, como es habitualmente representado. Al fondo uno de sus célebres experimentos relacionado con su también celeberrimo «Principio».

tico siguió aportando numerosos nuevos conocimientos, como lo hicieron también las civilizaciones chinas e indostánicas, las más avanzadas entonces junto con la griega. Por poner algunos ejemplos, Euclides diseñó las bases de la geometría como ciencia, e Hipócrates aplicó a la medicina con grandes resultados los principios científicos de Aristóteles, rechazando que las enfermedades se debieran a la acción de fuerzas sobrenaturales. En vez de eso, consideraba que la salud dependía del equilibrio del cuerpo, y en caso de presentarse, la enfermedad era curable si se realizaba un correcto diagnóstico y un tratamiento que podía ir desde el reposo hasta el uso de drogas obtenidas de plantas (el origen de los medicamentos). Incluso defendió la aplicación de cirugía. Hipócrates fue el primer cirujano del que se tiene nombre y los estudiantes de medicina siguen prestando el juramento hipocrático, una serie de obligaciones éticas a las que el médico ha de atenerse en el desempeño de su profesión y que él mismo estableció para sus alumnos. No estaría de más que algunos médicos de hoy día las releyeran de vez en cuando.

MUCHOS SIGLOS DE SEQUÍA

Se suele creer que la decadencia de los estudios científicos llegó con el fin de Imperio Romano y el inicio de la Edad Media, pero eso no es cierto. Desde más atrás, quizás desde el siglo II antes de Cristo, las enseñanzas de los presocráticos y de la escuela de Atenas fueron perdiendo fuerza y se apagó ese primer estallido intelectual de la humanidad. Lo que quedó fue una serie de reinterpretaciones de las ideas de los griegos antiguos que realmente aportaron poco en forma de nuevos conocimientos. Por ejemplo, una de las figuras centrales de esa época, el astrónomo Ptolomeo, lo que hizo en realidad fue condensar y unificar los modelos del cosmos creados en los tiempos clásicos, pero su resultado es prácticamente una reproducción del sistema geocéntrico de Aristóteles. Del mismo modo, Asclepio y Galeno aplicaron y divulgaron la medicina de Hipócrates pero apenas profundizaron en métodos fundamentalmente nuevos. Quizá el

único campo científico en el que hubo avances importantes fue en la geografía, donde Estrabón rechazó el carácter exclusivamente cartográfico aplicado hasta entonces y defendió que el geógrafo debía atender también los aspectos humanos, la historia y las creencias de los habitantes de un país, para elaborar una auténtica descripción del mismo, dando origen de esta manera a la geografía humana (y a las guías de viajes).

La predominancia del cristianismo trajo un resurgir del pensamiento religioso, y los cristianos se entregaron a combatir activamente a quienes confiaban más en la ciencia que en Dios. Este combate se llevó a cabo no sólo literalmente, con el asesinato o el encarcelamiento de quienes defendían la lógica frente a la fe, sino también a nivel ideológico. Hubo un resurgir de la filosofía, sobre todo de la platónica, que fue adaptada al cristianismo por San Agustín de Hipona en el siglo IV de nuestra era y cuyos escritos se convirtieron en la base de la teología cristiana. Pero esta filosofía estaba radicalmente alejada de la ciencia empírica, a la que negaba ningún valor. Las aplicaciones prácticas del conocimiento se derivaron hacia actividades como la alquimia, que pese a su trasfondo esotérico logró algunos descubrimientos en el ámbito de la química más por azar que por una búsqueda calculada. No es de extrañar, por tanto, que los avances de la ciencia durante la Edad Media occidental llegasen de otras culturas, como la judía o la musulmana, más abiertas y tolerantes en aquellos tiempos que la cristiana. Las matemáticas en concreto vivieron un gran impulso gracias a figuras como Omar Khayyam, que aplicó por primera vez con éxito ecuaciones cuadráticas, o Al Quaritmi, que desarrolló el concepto y las fórmulas de algoritmo, un sistema de operaciones estable y ordenado que facilita el cálculo y que tomó el nombre de su inventor. Dentro de aquellos siglos de sequía científica destacaron también Avicena, que sintetizó el saber médico desde la Antigua Grecia hasta su época, y Averroes, que pidió el rescate del mundo sensible de Aristóteles frente al platonismo idealizado imperante entonces.

Hubo que esperar muchos centenares de años para que la luz de la razón científica empezara a brillar de nuevo, y lo hizo muy lentamente, con un timidez comprensible. Quien abrió la espita para el renacimiento del racionalismo lógico a mediados

del siglo XIII fue un miembro de la propia Iglesia, Santo Tomás de Aquino, lo cual resulta normal porque sólo los clérigos con fama de sabios podían tomarse ciertas licencias sin acabar en manos del verdugo. Santo Tomás era un monje dominico muy culto que leyó a Aristóteles y llegó a la conclusión de que la descripción aristotélica del universo era mucho más correcta que la de Platón. A partir de entonces, Santo Tomás se consagró a convencer a obispos y cardenales de que la investigación sobre el mundo sensible no contradecía los dogmas cristianos, sino al contrario, afirmaba que sólo la deducción lógica podía descubrir las verdades universales, ya que la razón humana había sido otorgada por Dios y por tanto no podía oponerse a él. Esta postura de Santo Tomás empezó a ser aceptada y tuvo continuidad con Roger Bacon, otro fraile, esta vez franciscano, que reivindicó también el método científico de Aristóteles pero yendo un paso más allá. Bacon postulaba que la ciencia experimental era aún más importante que el razonamiento, y dejó para la posteridad dos frases rotundas: «Las matemáticas son la puerta y la llave de todas las ciencias», y «La ciencia experimental desvela verdades que la razón sola nunca habría descubierto». Por suerte para él, sus manuscritos tuvieron escasa difusión (la orden franciscana le prohibió escribir y tuvo que hacerlo en secreto), y aún así parece que terminó siendo encarcelado durante diez años.

EL RENACIMIENTO CIENTÍFICO

Estos primeros intentos filosóficos de rescatar el método científico no cayeron en saco roto, y algunos espíritus inquietos empezaron a sacudirse el polvo de siglos y decidieron estudiar la naturaleza sin limitarse a los criterios escolásticos. A ello ayudó notablemente el avance de la tecnología, sobre todo en el ámbito de la óptica, que permitía disponer de herramientas cada vez más precisas. Así que no es extraño que la segunda gran revolución científica llegara en principio de la mano de la astronomía. A finales del siglo XV los telescopios permitían una observación del cielo como nunca antes había sido posible, y personajes

tan insólitos como Leonardo Da Vinci habían sorprendido con su capacidad de crear artefactos que interactuaban de forma insólita con el mundo físico, lo que insinuaba una estructura diferente y desconocida de la naturaleza^[4].

El paso decisivo para explicar el cosmos aunque supusiera una ruptura con la doctrina cristiana lo dio otro clérigo, Nicolás Copérnico, que vivió en la primera mitad del siglo XVI. Durante decenios atrás se habían ido acumulando datos que indicaban errores en el modelo geocéntrico de Ptolomeo, derivado como vimos del de Aristóteles y considerado sacrosanto por la Iglesia. Por ejemplo, astrónomos dotados con nuevos telescopios habían podido medir una y otra vez alejamientos y acercamientos muy sutiles de las estrellas con respecto a la Tierra. Pero si, según el modelo de Ptolomeo, la Tierra permanece inmóvil en el centro y las estrellas también están fijas en el borde del círculo exterior del universo, no debería registrarse ningún cambio en las distancias. Más inexplicable resultaba aún el caso de las estrellas errantes, que era como se llamaba entonces a los planetas del Sistema Solar. Ptolomeo decía que esos objetos debían girar dentro de esferas fijas en relación a la Tierra, pero las observaciones indicaban que seguían trayectorias variables y no ajustadas en absoluto a una circunferencia. Copérnico, que había estudiado astronomía en Italia^[5], se lanzó a la tarea de solucionar esas contradicciones, en principio con el objetivo de salvar la teoría ptolemaica. Pero lo que al final encontró como resultado de sus esfuerzos fue muy diferente: las observaciones sólo se explicaban si se aceptaba que la Tierra no era el centro del universo, sino una estrella errante (un planeta) más, que giraba en torno a un Sol que pasaba a ocupar la posición central. Copérnico estuvo cerca de veinticinco años dándole vueltas al tema, hasta que se convenció, casi en contra de su voluntad, de que los resultados eran correctos y el Sol, no la Tierra, era el centro de la esfera

4 Leonardo diseñó objetos tales como autómatas con aspecto humano, un submarino, un automóvil impulsado por agua, una calculadora, una escafandra para bucear o diversos tipos de máquinas voladoras, entre muchas otras cosas. Pero no parece cierto que también inventara la bicicleta, cuyo origen se suele situar en la antigua China y que llegaría a Europa tras los viajes comerciales de los venecianos.

5 Además de derecho, medicina, teología, griego, latín y filosofía. Desde luego era todo un hombre del Renacimiento.

celeste. Pero es que además tuvo que aceptar que de sus cálculos se desprendía también que nuestro planeta no sólo se movía en el universo, sino que giraba sobre sí mismo. La alternancia de días y noches, por tanto, no se debía al giro del Sol en torno a la Tierra, sino a que la Tierra rota como un trompo y va mostrando cíclicamente áreas de su superficie al Sol. En realidad las consecuencias reales del modelo de Copérnico eran mucho más serias, aunque él no se dio cuenta y harán falta astrónomos posteriores que las señalaran, como veremos después. Pero para Copérnico ya resultaba bastante duro tener que romper con algunos de los dogmas de la Iglesia. No olvidemos que era sacerdote, y no uno cualquiera, sino nada menos que el administrador de la diócesis de Warmia y mano derecha de los sucesivos obispos. Se cree que por ser consciente de que caía en la herejía y por temor a la Inquisición no publicó el libro donde daba cuenta de sus hallazgos hasta el año 1543, pese a tenerlo acabado desde 1530. Como una tétrica coincidencia, Copérnico recibió el primer ejemplar de la imprenta el mismo día de su fallecimiento.

Y si la muerte impidió que Copérnico se viese ante un tribunal inquisitorial, no corrió el mismo destino nuestro siguiente protagonista, Galileo Galilei. El juicio contra Galileo por defender (y demostrar para quien tuviera ojos) que el Sol era el centro en torno al que giraba la Tierra se ha convertido en un referente del absurdo de la intransigencia religiosa contra la ciencia. Galileo inició sus investigaciones muy joven, estudiando sobre todo el campo de la mecánica o movimiento de los cuerpos, y en 1604 descubre la ley del movimiento uniformemente acelerado, algo que después aplicará a sus estudios astronómicos. En diciembre de ese mismo año observa la aparición de una nova como una nueva estrella en el cielo, lo que le convence de la inexactitud del modelo estable de Ptolomeo y le impulsa a observar el cosmos. Y, como a Galileo no le faltaban recursos intelectuales precisamente, decide construir su propio telescopio. Llegará a fabricar más de sesenta y algunos se convertirán en los más avanzados de su época, alcanzando los veinte aumentos. Con ellos Galileo va acumulando pruebas que confirman y amplían la teoría heliocéntrica de Copérnico: existencia de montañas en la Luna (Ptolomeo decía que era una esfera perfecta), aparición de

nuevas estrellas (en las que además no podían observarse variaciones de posición desde distintos lugares de la Tierra, lo que indicaba que eran muy lejanas), satélites en Júpiter (con lo cual se niega que todos los objetos orbiten en torno a la Tierra), las manchas solares (cuyas formas señalan que el Sol también gira sobre su eje), las fases de Venus (que sólo se pueden explicar aceptando que Venus se mueve en torno al Sol), y algunas más. Galileo sometió todos estos descubrimientos a numerosas comprobaciones y los presentó de una forma estrictamente científica, confiando en que su rotundidad obligaría a la Iglesia a aceptar el modelo heliocéntrico.

En esto Galileo se equivocó, porque sus trabajos fueron recibidos con rabia por los defensores de la ortodoxia católica. En 1611 el cardenal Roberto Belramino, que unos años antes había quemado en la hoguera a Giordano Bruno^[6] y era ya apodado en su tiempo «El martillo de herejes», pide a la Inquisición que abra una investigación sobre Galileo. Desde los púlpitos de las iglesias italianas se suceden los ataques a su obra, aunque los argumentos son tan sólidos que no hay ninguna refutación científica seria; las críticas inciden únicamente en la discrepancia entre el modelo del universo de Galileo y el que ofrece la Biblia. Como resultado de tanto vocerío, en el año 1615 la Inquisición ordena a Galileo que se presente en Roma para comunicarle que considera su obra herética y que debe presentarla como una hipótesis, no como un hecho comprobado, a lo que el astrónomo se niega. La reacción del Santo Oficio es censurar sus obras e incluirlas en las listas de libros prohibidos. Debido a ello, en los años siguientes Galileo se centrará en el estudio del magnetismo y de los arcos de longitud en el mar, mientras es colmado de reconocimientos por parte de los sectores progresistas de la sociedad italiana. Pero hacia 1628 recibe una propuesta del mismísimo papa Urbano VIII para que escriba un libro donde explique a nivel de igualdad las teorías ptolemaicas y copernicanas. Contrariamente a lo que le habían pedido, el tratado resultante, que tituló *Diálogo sobre los principales sistemas del mundo*, contenía

6 Giordano Bruno fue el primero en proponer a partir de observaciones que el universo era infinito y el Sistema Solar únicamente uno de entre muchos similares.

una defensa de sus tesis y una crítica llena de desprecio e ironía del geocentrismo de Ptolomeo. El libro, impreso en 1632 gracias a una licencia papal, se convierte en un escándalo que provoca otra vez la intervención inquisitorial. Le vuelven a llamar a Roma para someterlo de nuevo a juicio por herejía, proceso que conocemos al dedillo porque está muy bien documentado. En él se exige a Galileo que confiese y que abjure de sus ideas bajo amenaza de tortura. Con 68 años y la salud quebrantada, el viejo sabio cede, confiesa su herejía y abjura públicamente para evitar la hoguera. Condenado a prisión domiciliaria perpetua, Galileo pasará el último tramo de su vida sentando las bases de la mecánica, que supera lo que quedaba vigente del legado de Aristóteles, y enseñando a un selecto grupo de discípulos. Ni siquiera hoy día la Iglesia ha rehabilitado abiertamente al padre de la ciencia moderna. Incluso el anterior papa, Benedicto XVI, escribió cuando era todavía un cardenal llamado Joseph Ratzinger que seguían sin existir pruebas para defender el heliocentrismo de Galileo. Saquen ustedes sus conclusiones.

Pese a los esfuerzos de los defensores de la ortodoxia religiosa y su recurso continuo a la violencia contra los científicos, la suerte estaba echada y los descubrimientos se acumulaban uno tras otro. El miedo a los procesos inquisitoriales retrasó la publicación de muchos libros e hizo que otros se divulgaran de forma anónima, pero la marea de observaciones que describían un mundo radicalmente diferente al mantenido por la Iglesia desmoronaba poco a poco el pensamiento escolástico. William Gilbert describió el magnetismo y de él derivó la existencia de una energía natural de atracción y repulsión que bautizó como fuerza eléctrica. Miguel Servet estudió la circulación de la sangre y difundió por doquier su opinión de que el alma era un principio físico, hasta que fue quemado en la hoguera en Ginebra por orden de Calvino. Con un goteo continuo de ideas y publicaciones polémicas, la Inquisición no daba abasto en aquellos tiempos. La puntilla definitiva al sistema geocéntrico, y de paso al predominio del pensamiento religioso sobre el racional, fue obra de un alemán llamado Johannes Kepler. Al igual que Copérnico, Kepler era un hombre creyente (estuvo a punto de ordenarse sacerdote) e intentaba hallar una síntesis entre la postura cien-

tífica de la Iglesia y las observaciones astronómicas, y también como Copérnico tuvo que terminar aceptando que el mundo era muy diferente al que preconizaba la ortodoxia romana. Su obra dejó tres leyes fundamentales que siguen siendo válidas en la actualidad. La primera de ellas descarta que las órbitas de los planetas alrededor del sol sean circulares, y demuestra que en realidad se trata de elipses. En la segunda Kepler calcula las áreas barridas por los radios de los planetas, y concluye que son proporcionales al tiempo empleado por éstos en recorrer el perímetro de dichas áreas. En la tercera, estableció que el cuadrado de los periodos de las órbitas de los planetas es proporcional al cubo de sus distancias promedias al Sol. Este cálculo, que se conoció con el nombre de «ley armónica», permitía en combinación con las otras dos leyes unificar, predecir y comprender los movimientos de cualquier planeta. Entendiendo la obra de Kepler como un mero formulismo matemático, la Inquisición lo dejó en paz. Pero murió pronto por causas naturales, a los 59 años de edad, no sin antes ofrecer un último dato: que las mareas se producen por la atracción de la Luna sobre los océanos, algo que nadie había sido capaz de pensar hasta entonces.

Les cuento una anécdota para tomarnos un respiro. Hace unos años tuve que viajar a Kenia por motivos de trabajo y acabada la tarea, antes de regresar, mis compañeros y yo pudimos dedicar una semana a visitar las reservas naturales de Masai Mara y de Serengueti, ésta última en Tanzania. Allí encontramos la fortuna de poder alojarnos en un campamento al lado de una aldea masai, y cenábamos casi cada noche con gente de esta admirable tribu. En una sobremesa, con elefantes, leones y ñúes abrevando tranquilamente en un riachuelo a pocos metros de nosotros, surgió el tema de la forma de la Tierra, quizá debido a la impresionante luna llena que brillaba en ese momento sobre la sabana de África. Los masai charlaban con nosotros gracias a las traducciones del guía que nos acompañaba y se murieron de risa cuando di por hecho que nuestro planeta es redondo. La Luna sí lo es, comentaron, porque nació de una gota de leche desprendida de las ubres de una vaca divina. Pero, ¿la Tierra redonda? Y entre carcajadas me instruyeron, argumentando que en ese caso los seres humanos caminarían hasta llegar sin darse

cuenta a la parte de abajo, y entonces se precipitarían sin remedio hacia el vacío del cosmos.

En Occidente sabemos desde Aristóteles que la Tierra es efectivamente redonda, debido en principio a tres argumentos desarrollados por los antiguos griegos. El primero razona que la sombra que nuestro planeta refleja sobre la Luna durante los eclipses es esférica; si la Tierra fuera plana, la sombra debería tener la forma de un rectángulo muy alargado. Además, pudieron observar que la Estrella Polar varía su posición en el cielo según desde dónde la miremos, con diferencias de grados de arco por ejemplo entre Atenas y Alejandría, algo que llevó a Aristóteles a deducir que sólo podía explicarse si caminamos sobre una esfera. Por último, los griegos constataron que cuando un barco se aleja del puerto lo primero que se pierde de vista es el casco, luego la cubierta y por último las velas, es decir, como si se deslizara por una superficie curva. Aunque los masai tienen una cultura muy avanzada en aspectos como la convivencia o la ecología, aún no han llegado a desarrollar el concepto de la redondez de la Tierra, y ni siquiera a poder imaginarse otro: el de la gravedad.

Esta anécdota ha venido a cuento para que intentemos valorar la dificultad que supone concebir la idea de la gravedad. Muchas veces lo más evidente es lo que menos alcanzamos a ver, y nos resulta tan natural que las cosas se caigan al suelo que ni siquiera nos parece digno de explicación. Pero esto no era así en el ámbito de la astronomía, y las leyes de Kepler obligaban a explicar por qué los cuerpos celestes giran en órbitas unos en torno a otros como si se atrajeran mutuamente. En aquella época se atribuyó la explicación al magnetismo, un fenómeno que se había estudiado bien. El propio Kepler consideró que los cuerpos se atraen en función de la fuerza magnética, lo cual daría razón al mismo tiempo de por qué los planetas no acaban amontonándose unos encima de otros: el magnetismo atrae pero también repele, y esa tensión de dos sentidos mantenía estables las órbitas de los planetas a la distancia adecuada. Una explicación que a la luz de la ciencia actual es casi infantil, pero que fue aceptada y enseñada en las universidades europeas durante decenas de años poniendo el nombre de Kepler como garantía de certidumbre.

NEWTON Y EL DESVELAMIENTO DE LAS LEYES DEL UNIVERSO

Pese a este error no debemos reírnos de Kepler, porque probablemente sin sus leyes Newton lo habría tenido bastante más difícil para dar el paso de gigante que supuso su formulación de la gravitación universal. Isaac Newton figura sin duda entre los mayores genios de la historia de la humanidad. Era una persona excéntrica y hasta desagradable, pero extremadamente inteligente. Catedrático de matemáticas en la Universidad de Cambridge, descubrió entre otras cosas el espectro de la luz blanca, las leyes que regulan el intercambio de calor y frío entre los cuerpos, los principios de la viscosidad y de la mecánica de fluidos, y hasta sugirió que la luz estaba formada por partículas, lo que hoy sabemos que es cierto y cuya explicación abrió el camino de la física atómica actual. Inventó además el cálculo diferencial y las integrales. Pero lo que le otorga a Newton el puesto de honor que ocupa en la ciencia es su descubrimiento de las leyes de la gravedad, que permitieron la más correcta descripción del universo nunca elaborada hasta entonces y que siguen siendo válidas en la actualidad. En ellas se basaron, por ejemplo, los cálculos que llevaron a la Luna al Apollo XI, y se siguen basando las misiones que envían satélites al espacio.^[7]

En principio Newton comenzó a interesarse por la dinámica, que estudia el movimiento de los cuerpos. Sus experimentos le llevaron a una conclusión temprana: cualquier cuerpo tiende a mantener su estado si no es influido por una fuerza externa, es decir, un objeto quieto seguirá en reposo mientras algo no lo empuje, y un objeto en movimiento seguirá moviéndose a la misma velocidad y de forma rectilínea mientras algo no lo detenga o lo desvíe. A esto se le llama la Primera Ley de Newton o ley de la inercia. De ella dedujo Newton lo siguiente: el cambio (o el inicio) del movimiento es proporcional a la fuerza aplicada y se produce en línea recta al sentido en que se empuja, o en

7 Para los ultraescépticos que todavía dudan de que el hombre llegara a la Luna y defienden la teoría del montaje, les dejo este enlace: <http://mangasverdes.es/2009/07/17/desmontando-la-conspiranoia-sobre-el-apollo-xi-en-8-puntos/>.

otras palabras, dependiendo de cómo de intensa sea la fuerza, así de intenso será el cambio de sentido (o el arranque), y siempre en la misma dirección en que actúa la fuerza. Tenemos aquí la Segunda Ley de Newton o ley de la interacción. A continuación, extendió el razonamiento a la reciprocidad entre los elementos implicados: todo empuje produce una reacción de igual fuerza pero dirigida en sentido opuesto. Y ésta es la Tercera Ley de Newton o ley de acción-reacción, que en principio parece sencilla pero que en realidad introduce un concepto esencial, el de que los cuerpos poseen potencia en función de su estado de movimiento, con lo que formuló un nuevo tipo de energía, la cinética, que será muy importante en el desarrollo posterior de la física. A todas estas leyes, por supuesto, Newton las dotó de un cuerpo matemático con ecuaciones perfectamente definidas que permitían calcular cualquier movimiento de un cuerpo y las fuerzas contenidas en el mismo.

Describir esos asuntos científicamente no dejaba de ser una gran hazaña, pero al empezar a aplicar sus fórmulas a casos concretos Newton se encontró con una desagradable dificultad. No era lo mismo la fuerza necesaria para empujar un carro en el vacío que en la superficie de la Tierra. Ciertamente, en la Tierra existe la resistencia del aire que frena al carro, pero según sus ecuaciones el aire no era suficiente para explicar el aumento de la intensidad de la fuerza necesaria para que el carro rodara aquí en comparación con un vacío ideal. La solución al enigma se le ocurrió una tarde en que estaba sentado cómodamente meditando y vio cómo una manzana caía de su árbol.^[8] Newton tuvo la intuición de que la manzana caía en vez de quedarse flotando porque la Tierra ejerce una fuerza de atracción sobre ella. Y después de años de intenso estudio, utilizando las matemáticas integrales y diferenciales que él mismo inventó, de esa intuición magnífica nació la Ley de la Gravitación Universal, que dice simplemente que los cuerpos se atraen con una fuerza directamente proporcional a la multiplicación de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de sus distancias. ¿A que les suena del

8 No es cierto que le cayera en la cabeza: el mismo Newton relató que la vio caer frente a él, no encima de él.