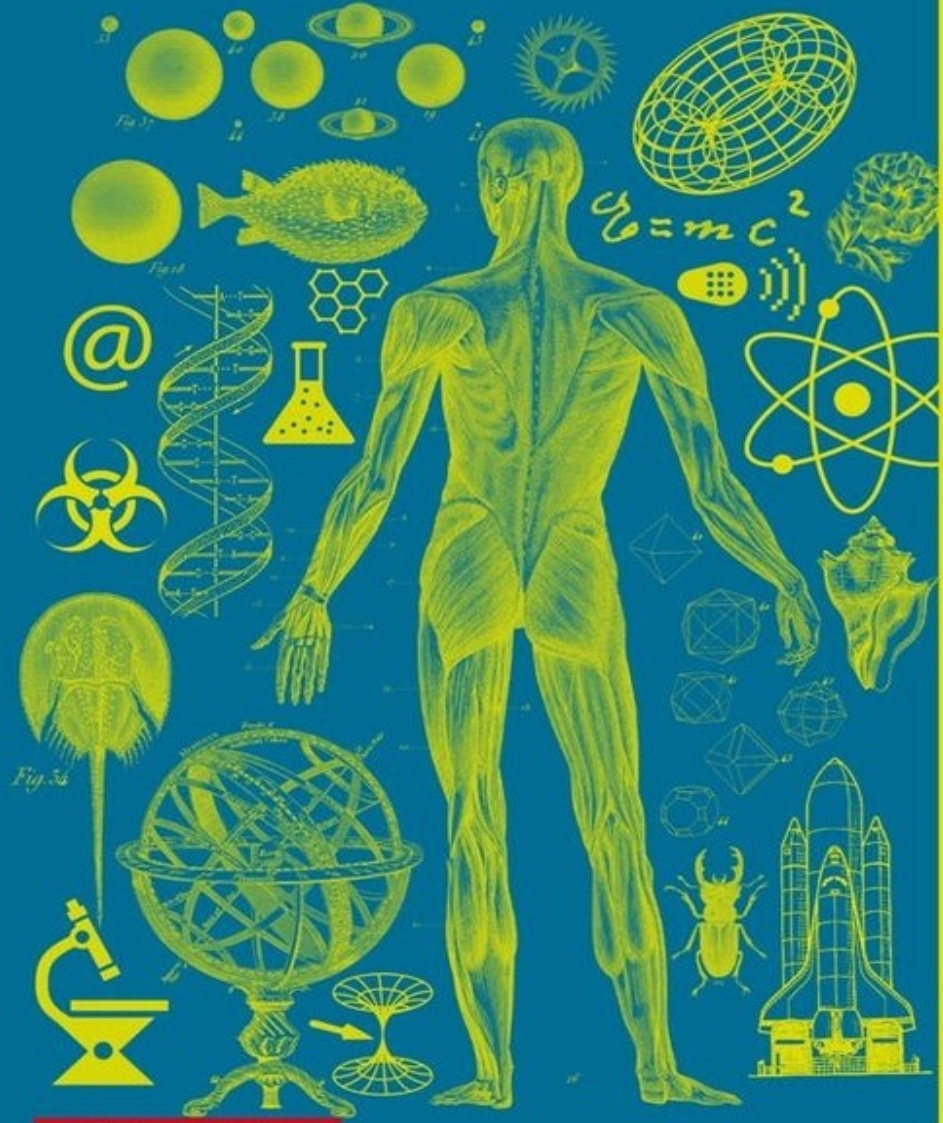
William Bynum

Una pequeña historia de la ciencia



Galaxia Gutenberg
Círculo de Lectores

William Bynum es catedrático emérito de Historia de la Medicina en el University College de Londres. Es autor de numerosos libros entre los que destacan *Science and the Practice of Medicine in the Nineteenth Century*, *Oxford Dictionary of Scientific Quotations* y *Great Discoveries in Medicine*. Vive en Suffolk, Reino Unido.

El ser humano siempre ha hecho ciencia porque desde tiempos remotos ha querido dar sentido al mundo y aprovechar plenamente su potencial. Desde los antiguos filósofos griegos a los científicos de hoy, los hombres y las mujeres han imaginado, examinado, experimentado, calculado, y a veces han hecho descubrimientos tan trascendentales que todos empezaron a entender el mundo –y a sí mismos– de una manera completamente nueva.

Este libro narra un gran relato de aventuras: la historia de la ciencia. Lleva a los lectores desde las primeras civilizaciones que miraban a las estrellas y al suelo hasta los telescopios de hoy en día explorando el espacio y los ordenadores para descifrar los componentes básicos de la vida. Ahonda en la superficie del planeta, traza la evolución de la tabla periódica de los elementos químicos, y nos introduce en la física que explica la electricidad, la gravedad y la estructura de los átomos. Relata la búsqueda científica que dio con la molécula del ADN y abrió inimaginables nuevas vías de exploración.

Una pequeña historia de la ciencia arroja nueva luz sobre la apasionante e impredecible naturaleza de la actividad científica. Cuidadosamente ilustrado y escrito con un estilo directo

Edición al cuidado de María Cifuentes

Título de la edición original: *A Little History of Science*
Traducción del inglés: Begoña Prat Rojo

Publicado por:
Galaxia Gutenberg, S.L.
Av. Diagonal, 361, 1.º 1.ª A
08037-Barcelona
info@galaxiagutenberg.com

Edición en formato digital: marzo de 2014

© William Bynum, 2012
© de la traducción: Begoña Prat Rojo, 2014
© Galaxia Gutenberg, S.L., 2014
Imagen de cubierta: © Estudio Pep Carrió

Conversión a formato digital: Maria Garcia
Depósito legal: B. 24111-2013
ISBN: 978-84-16072-11-8

Para Álex y Peter

Los comienzos

La ciencia es especial. Constituye el mejor modo del que disponemos para conocer cómo funciona el mundo y todo lo que hay en él… lo cual nos incluye a nosotros.

La gente lleva miles de años haciéndose preguntas acerca de lo que ve a su alrededor, y las respuestas que ha obtenido han variado mucho con el tiempo, del mismo modo que la ciencia. La ciencia es dinámica; se construye sobre las ideas y los descubrimientos que una generación transmite a la siguiente, y da pasos de gigante hacia delante cuando se realiza un descubrimiento completamente nuevo. Lo que no ha cambiado nunca es la curiosidad, la imaginación y la inteligencia de aquellos que se dedican a hacer ciencia. Es posible que hoy en día dispongamos de más conocimientos, pero las personas que pensaban en profundidad acerca de su mundo hace tres mil años eran tan inteligentes como nosotros.

Este libro no trata sólo de microscopios y tubos de ensayo, aunque ambos sean los elementos que la mayoría de la gente imagina al pensar en ciencia. Durante la mayor parte de la historia humana, la ciencia se ha utilizado junto

con la magia, la religión y la tecnología para tratar de comprender y controlar el mundo. La ciencia puede representar algo tan sencillo como observar la salida del Sol cada mañana, o tan complicado como identificar un nuevo elemento químico. La magia podría consistir en mirar las estrellas para predecir el futuro o tal vez en alguna superstición, como mantenerse apartado del camino de un gato negro. La religión puede llevarte a sacrificar un animal para apaciguar a los dioses o rezar para que la paz se instaure en el mundo. La tecnología está relacionada con los conocimientos para encender un fuego o fabricar un nuevo ordenador.

La ciencia, la magia, la religión y la tecnología fueron utilizadas por las primeras sociedades humanas que se asentaron en los valles de los ríos de India, China y Oriente Medio. Dichos valles eran fértiles, lo que permitía plantar cada año cosechas suficientes para alimentar a una gran comunidad. Esto proporcionó a algunos miembros de estas comunidades tiempo suficiente para concentrarse en un tema, experimentar y experimentar, y convertirse en expertos en él. Los primeros «científicos» (aunque en aquella época no recibieran este nombre) eran, con toda probabilidad, sacerdotes.

Al principio, la tecnología (relacionada con el «hacer») era más importante que la ciencia (relacionada con el «saber»). Antes de cultivar con éxito, confeccionar ropa o cocinar la comida, es necesario saber qué hacer y cómo hacerlo. No hace falta saber *por qué* algunas bayas son venenosas o algunas plantas comestibles, para aprender a evitar las primeras y plantar las segundas. Tampoco hace falta que exista una razón para que el Sol salga cada mañana

y se ponga cada noche, porque es algo que seguirá pasando cada día. Pero los seres humanos no sólo son capaces de aprender cosas acerca del mundo que les rodea, también son curiosos, y es esa curiosidad la que anida en el corazón de la ciencia.

Existe una razón muy sencilla para que sepamos más de las comunidades de Babilonia (el actual Iraq) que de otras civilizaciones antiguas, y es que utilizaban la escritura sobre tablas de arcilla. Miles de estas tablas, escritas hace casi seis mil años, han llegado hasta nuestros días y nos proporcionan información sobre cómo veían su mundo los babilonios. Éstos eran extremadamente organizados y mantenían un cuidadoso registro de las cosechas, las existencias almacenadas y las finanzas. Los sacerdotes dedicaban gran parte de su tiempo a estudiar los hechos y las cifras de la vida en la Antigüedad, y también eran los principales «científicos»: tasaban las tierras, medían las distancias, inspeccionaban el cielo y desarrollaban técnicas para contar. Algunos de sus descubrimientos siguen utilizándose hoy en día. Igual que nosotros, usaban marcas de conteo para llevar cuentas; estas marcas consisten en realizar cuatro palos verticales y cruzarlos en diagonal con un quinto; es posible que las hayas visto en las tiras cómicas donde los presos de una prisión mantienen la cuenta de los días que llevan encarcelados. Y aún más importante: los babilonios fueron quienes establecieron que un minuto tendría sesenta segundos y una hora, sesenta minutos, así como que un ángulo contaría con 360 grados y una semana, con siete días. Es curioso pensar que no existe una razón lógica para ello; podrían haber usado otras cifras. Pero el sistema babilonio fue reproducido en otros lugares y al final

ha quedado establecido.

Uno de los puntos fuertes de los babilonios era la astronomía, esto es, la observación del cielo. Después de muchos años empezaron a reconocer patrones en la posición de las estrellas y los planetas por la noche. Creían que la Tierra constituía el centro de todo, y que había poderosas y mágicas conexiones entre nosotros y las estrellas. En tanto la gente creía que la Tierra era el centro del universo, no la consideraba un planeta. Dividieron el cielo nocturno en doce partes y le dieron a cada una un nombre asociado con un determinado grupo (o «constelación») de estrellas. Como si se tratara de un juego celestial de unir los puntos, los babilonios distinguían dibujos de objetos y animales en algunas constelaciones, como pueden ser una balanza o un escorpión. Éste fue el primer zodíaco, la base de la astrología, que se centra en la influencia de las estrellas sobre nosotros. En la antigua Babilonia, la astrología y la astronomía estaban íntimamente ligadas, y eso se perpetuó a lo largo de los siglos. Hoy en día mucha gente sabe bajo qué signo del zodíaco ha nacido (yo soy Tauro, el toro), y lee su horóscopo en el periódico o en las revistas en busca de consejos sobre su vida. Pero la astrología no forma parte de la ciencia moderna.

Los babilonios constituían tan sólo uno de los diversos e influyentes grupos que se extendían por Oriente Medio en la Antigüedad. Los más conocidos serían los egipcios, que se establecieron a lo largo del río Nilo ya en el 3500 a.C. Ninguna civilización anterior o posterior ha estado tan subordinada a un solo elemento natural. Los egipcios dependían del Nilo para su mera existencia: la crecida anual del poderoso río provocaba que las orillas se llenaran de un

ciemo muy rico que preparaba la tierra para las cosechas del año siguiente. Egipto es un país extremadamente cálido y seco, lo que ha propiciado que muchas cosas hayan pervivido hasta nuestros días y nos permitan admirarlas y aprender de ellas, como un montón de imaginería y muestras de su escritura pictográfica, llamada jeroglífica. Tras la conquista de Egipto por parte primero de los griegos y después de los romanos, desapareció la capacidad de escribir y leer jeroglíficos, de modo que durante casi dos mil años su significado permaneció oculto. En 1798 un soldado francés encontró una tableta redonda en una pila de escombros de un pequeño pueblo cerca de Rosetta, en el norte de Egipto, que mostraba una proclama escrita en tres lenguajes: jeroglífico, griego y una forma aún más antigua de egipcio llamada demótico. La piedra Rosetta se trasladó a Londres, donde todavía puede contemplarse en el Museo Británico. Constituyó un descubrimiento prodigioso. Los eruditos podían leer el griego y de ese modo traducir los jeroglíficos, lo que permitió descodificar la misteriosa escritura egipcia. A partir de entonces empezamos a entender de verdad las creencias y las prácticas del Antiguo Egipto.

La astronomía egipcia era parecida a la de los babilonios, pero la preocupación por la vida después de la muerte de los egipcios conllevaba que su observación de las estrellas tuviera un sentido más práctico. El calendario era muy importante, no sólo porque les proporcionaba indicaciones acerca del mejor momento para plantar sus cosechas o porque les permitiera prever el momento de la crecida del río, sino también para planear los festivales religiosos. Su año «natural» constaba de trescientos sesenta días, divididos

en doce meses de tres semanas, cada una de diez días de duración. Asimismo, añadían cinco días extra al final de cada año para que las estaciones no se desplazaran. Los egipcios creían que el universo tenía forma de caja rectangular; su mundo se encontraba en el fondo de dicha caja y el río Nilo fluía justo por el centro de ese mundo. El comienzo de su año coincidía con la crecida del Nilo, y acabaron por relacionarla con la aparición nocturna de la más brillante de las estrellas, que nosotros llamamos Sirio.

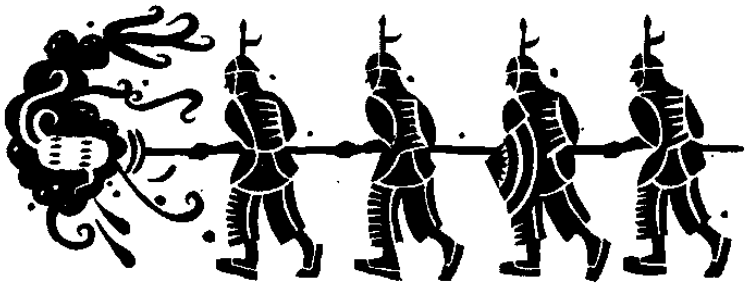
Igual que ocurría en Babilonia, los sacerdotes ocupaban un lugar importante en la corte de los faraones, los gobernantes egipcios a los que se consideraba divinos y que se creía que disfrutaban de una vida después de la muerte. Ésa es una de las razones por las que construían sus pirámides, que en realidad son gigantescos monumentos funerarios. Los faraones, sus familiares y otros personajes importantes de la sociedad, junto con sus sirvientes, perros, gatos, muebles y reservas de comida, se colocaban en estas macizas estructuras para que esperaran su nueva vida en el otro mundo. Para preservar los cuerpos (al fin y al cabo, no habría tenido mucho sentido aparecer en la próxima vida con el cuerpo podrido y apestoso), los egipcios desarrollaron un método para embalsamar a los muertos, que implicaba en primer lugar extraer los órganos internos (disponían de un largo gancho para sacar el cerebro a través de las narinas) y colocarlos en unos frascos especiales. Se utilizaban sustancias químicas para preservar el resto del cuerpo, que luego se envolvía con tela de lino y se colocaba en el lugar de su descanso final en la tumba.

Sin duda, los embalsamadores tenían una idea muy precisa del aspecto del corazón, los pulmones, el hígado y los

riñones, pero por desgracia no dejaron una descripción de los órganos que extraían, así que no sabemos cuál creían que era su función. Aun así, existen otros papiros médicos que sí han llegado a nuestros días y que nos describen la medicina y la cirugía egipcias. Como era habitual en esa época, los egipcios creían que la causa de las enfermedades era una mezcla de elementos religiosos, mágicos y naturales. Los sanadores recitaban conjuros mientras aplicaban sus remedios a los pacientes. Pero muchas de las curas que inventaron los egipcios sí que parecen provenir de una meticulosa observación de la enfermedad. Es más que probable que algunas de las medicinas que colocaban en los apósitos de las heridas debidas a lesiones o a cirugía mantuvieran éstas libres de gérmenes y ayudaran así a la curación. Y esto ocurría cientos de años antes de que supiéramos siquiera qué eran los gérmenes.

En esta etapa de la historia, el cálculo, la astronomía y la medicina eran los tres campos de actividad «científica» más obvios. El cálculo, porque es necesario saber «cuánta cantidad», antes de plantar suficientes cosechas para realizar intercambios con otras personas, o para ver si dispones de suficientes soldados o constructores de pirámides. La astronomía, porque el Sol, la Luna y las estrellas están tan relacionados con los días, los meses y las estaciones que anotar minuciosamente sus posiciones es fundamental para elaborar calendarios. La medicina, porque cuando la gente enferma o sufre heridas, lo más natural es que busque ayuda. Pero en todos estos casos, la magia, la religión, la tecnología y la ciencia estaban mezcladas, y en lo referente a estas antiguas civilizaciones de Oriente Medio hay muchas cosas respecto a por qué hacían lo que hacían o cómo vivía la

gente común su vida cotidiana que tan sólo podemos deducir. Siempre es difícil conocer aspectos de la vida de la gente común, puesto que en su mayor parte son las personas poderosas, que sabían leer y escribir, las que han dejado sus crónicas para la historia, y lo mismo puede aplicarse a otras civilizaciones antiguas que tuvieron origen en la misma época pero en la lejana Asia: China e India.



Agujas y números

Si nos dirigimos aún más hacia el este desde Babilonia y Egipto encontraremos tierras donde las antiguas civilizaciones florecieron a ambos lados de la cordillera del Himalaya, en India y China. Hace unos cinco mil años, la gente vivía allí en pueblos y ciudades diseminados por los valles de los ríos Indo y Amarillo. En aquella época, tanto India como China eran vastos territorios, más grandes incluso que hoy en día. Ambos formaban parte de redes comerciales terrestres y marítimas, canalizadas a través de las rutas de las especias, y sus habitantes habían desarrollado la escritura y la ciencia hasta un nivel superior. La influencia iba en dos direcciones: la ciencia beneficiaba el comercio, y la riqueza resultante permitía el lujo del estudio. De hecho, hasta el año 1500, la ciencia de estas dos civilizaciones estaba tan avanzada como la europea. India nos dio sus números y el amor por las matemáticas. De China vinieron el papel y la pólvora, y un artilugio indispensable para la navegación: la brújula.

Hoy en día China es una potencia mundial. Ropa, juguetes y dispositivos electrónicos son fabricados allí y se

venden en todo el globo; sólo hay que comprobar la etiqueta de nuestras zapatillas deportivas. Durante siglos, sin embargo, los occidentales miraron este vasto país con sorna o suspicacia. Los chinos hacían las cosas a su manera, y su país resultaba tan misterioso como inmutable.

Ahora sabemos que China ha sido siempre un país dinámico y que su ciencia ha estado también en constante cambio. Aunque hay una cosa que ha permanecido inalterable a lo largo de los siglos: la escritura. La escritura china está formada por ideogramas, pequeñas figuras que representan objetos, lo cual resulta extraño para las culturas que utilizan alfabetos, como la nuestra. Pero si uno sabe cómo interpretar los dibujos, podrá leer textos antiguos, muy antiguos, con la misma facilidad que los contemporáneos. De hecho, hay que agradecer a China la invención del papel, que facilitó enormemente la escritura. La muestra más antigua de la que hay constancia data de mediados del siglo II a.C.

Gobernar China no fue nunca una tarea fácil, pero la ciencia resultó de ayuda. El que quizá sea el proyecto de ingeniería de mayor envergadura de todos los tiempos, la Muralla China, comenzó a construirse en el siglo V, durante la dinastía Zhou occidental. (La historia china se divide en dinastías, asociadas a poderosos gobernantes y sus cortes.) La función de la muralla era mantener alejados a los bárbaros del norte, ¡así como evitar que los chinos saliesen! La obra tardó siglos en completarse y sufrió continuas ampliaciones y reparaciones, y hoy en día alcanza la longitud de 8.851 kilómetros. (Hubo años en que la gente creyó que era posible verla desde el espacio, pero no es cierto: los propios astronautas chinos no consiguieron

distinguir la estructura.) Durante la dinastía Sui, en el siglo V, se empezó otro gran hito de la ingeniería: el Gran Canal. Con la ayuda de varios canales naturales, el canal de un kilómetro y medio conectaba la gran ciudad interior de Beijing, en el norte, con Hangzhou, en la costa sur, y de allí con el mundo exterior. Estas grandes obras constituyen poderosos recordatorios de la habilidad de los aparejadores e ingenieros chinos, pero también del tremendo caudal de duro trabajo humano necesario para su construcción. Los chinos habían inventado la carretilla, pero los trabajadores aún tenían que cavar, empujar y construir.

Los chinos concebían el universo como una especie de organismo vivo, en el que ciertas fuerzas lo conectaban todo. La fuerza o energía fundamental era el chi, y existen otras dos fuerzas básicas: el yin y el yang. El yin, el principio femenino, se asocia a la oscuridad, las nubes y la humedad; el yang, el principio masculino, se asocia con la luz del sol y el calor. Las cosas no son nunca completamente yin o yang: ambas fuerzas se combinan en diversos grados. Según la filosofía china, cada uno de nosotros alberga parte de yin y parte de yang, y la combinación exacta tiene su repercusión en quién somos y cómo nos comportamos.

Los chinos creían que el universo estaba constituido por cinco elementos: agua, metal, madera, fuego y tierra. No se trata del agua o el fuego que podemos ver a nuestro alrededor, sino de principios que se unían para formar la tierra y el cielo. Cada elemento tenía características diferentes, por supuesto, pero también poderes interrelacionados, de una forma parecida a los muñecos de Transformers. Por ejemplo, la madera podía vencer a la tierra (una pala de madera puede cavar el suelo); el metal

podía cincelar la madera; el fuego podía fundir el metal; el agua podía apagar el fuego, y la tierra podía retener el agua. (Sólo hay que pensar en el juego de «Piedra, papel o tijera», inventado por los chinos.) Estos elementos, combinados con las fuerzas yin y yang, generan los ritmos cíclicos del tiempo y la naturaleza, del nacimiento y la muerte, así como el movimiento del Sol, las estrellas y los planetas.

Puesto que estos elementos y fuerzas son la materia constituyente de todo lo que existe, de algún modo todo está vivo y unido. Es por ello que en China nunca se desarrolló una noción del átomo como unidad básica de la materia. Los filósofos de la naturaleza tampoco creían tener que expresarlo todo en números para que fuera considerado «científico». La aritmética, por ejemplo, era muy práctica para realizar sumas al comprar o vender, pesar los artículos y cosas así. Las primeras menciones al ábaco, un artilugio con bolas deslizantes insertadas en cables con el que quizá hayas aprendido a contar, datan de finales del siglo XVI, aunque es probable que se inventara antes. El ábaco permite contar y sumar con más rapidez, y también restar, multiplicar y dividir.

Los números también se utilizaban para calcular la extensión de los días y los años. Ya en 1400 a.C. los chinos sabían que el año tenía 365 días y ¼, y como la mayoría de civilizaciones antiguas, calculaban los meses con la ayuda de la Luna. Igual que las demás civilizaciones de la época, los chinos también definían el año como la cantidad de tiempo que tardaba el Sol en regresar a su punto inicial en el cielo. Los ciclos de los movimientos de planetas, como Júpiter, y de las estrellas encajaban con la idea de que en la naturaleza todo es cíclico. El «Gran origen supremo definitivo» era un

cálculo inmenso para averiguar cuánto tardaría el universo en completar un ciclo: 23.639.040 años. Eso significaba que el universo era muy antiguo (aunque ahora sabemos que lo es mucho más). Los chinos también se planteaban cómo estaba estructurado este universo. Algunos de sus primeros mapas celestes muestran su capacidad para representar en un plano de dos dimensiones lo que existe en un plano curvo. Xuan Le, que vivió a finales de la dinastía Han (años 25-220), creía que el Sol, la Luna y las estrellas flotaban en el vacío cósmico impulsados por el viento. Esta creencia difería mucho de la de los griegos, que consideraban que estos cuerpos celestes se fijaban en forma de esferas sólidas, concepción que se acerca más a nuestra representación actual del cosmos. Los astrónomos chinos anotaban con meticulosidad cualquier suceso inusual, y al retrotraerse tanto en el tiempo, sus registros siguen resultando útiles a los astrónomos modernos.

Puesto que los chinos creían que la Tierra era muy antigua, no tenían dificultad alguna en reconocer los fósiles como restos endurecidos de plantas y animales que en su momento habían estado vivos. Las piedras se agrupaban según criterios como la dureza y el color. El jade era especialmente valioso, y los artesanos tallaban bellas estatuas en piezas de esa piedra. Los terremotos son habituales en China, y aunque nadie podía explicar por qué ocurrían, en el siglo II un hombre muy instruido llamado Zhang Heng registró los temblores terrestres mediante un peso colgante que se balanceaba cuando la tierra se sacudía. Se trata de una versión muy primitiva de nuestro sismógrafo, una máquina que dibuja una línea recta hasta que la tierra vibra y empieza a oscilar.

El magnetismo se estudiaba con fines prácticos. Los chinos aprendieron a magnetizar el hierro sometiéndolo a altas temperaturas y dejándolo enfriar después, colocado en dirección norte-sur. Las brújulas se utilizaron en China mucho antes de ser conocidas en Occidente, tanto para la navegación como para predecir el futuro. Lo más habitual era que estuvieran «mojadas»: una aguja magnetizada que flotaba en un cuenco de agua. Para nosotros las agujas de una brújula señalan hacia el norte, pero para los chinos apuntaban hacia el sur. (Por supuesto, nuestras brújulas también señalan el sur, con el extremo opuesto de la aguja. En realidad no importa la dirección que se elija, mientras exista un consenso generalizado.)

Los chinos también eran grandes químicos. Los mejores eran los taoístas, miembros de un grupo religioso seguidor de Lao Tze, que vivió en algún momento entre el siglo VI y el IV a.C. (*tao* significa «camino».) Otros eran seguidores de Confucio o de Buda. La filosofía de estos líderes religiosos enfocaba la atención de sus discípulos hacia el estudio del universo. La religión ha constituido siempre una fuente de influencia acerca del modo en que uno ve lo que le rodea.

Los procesos químicos que realizaban los chinos eran bastante sofisticados para su época. Por ejemplo, eran capaces de destilar alcohol y otras substancias, así como de extraer cobre de las soluciones. También mezclaban carbón, sulfuro y nitrato de potasio para elaborar pólvora, el primer explosivo químico y el trampolín para fabricar tanto fuegos artificiales como armas de fuego. Podría decirse que la pólvora mostraba el yin y el yang de la química: explotaba con gran belleza en espectaculares montajes de fuegos artificiales en la corte, al mismo tiempo que se usaba en

armas y cañones en los campos de batalla orientales ya en el siglo x. No se sabe con exactitud cómo llegaron a Europa la receta y las instrucciones para elaborar esta poderosa sustancia, pero existe una descripción datada en 1280. Lo que está claro es que convirtió la guerra en un asunto mucho más mortal en todas partes.

Entre los chinos también había alquimistas, que buscaban el llamado «elixir de la vida», una sustancia que incrementaría la duración de la vida o que nos haría incluso inmortales. (En el capítulo 9 hay más información sobre la alquimia.) No consiguieron encontrarla, y de hecho varios emperadores habrían vivido más años si no hubieran tomado estas «curas» experimentales y tóxicas. En cualquier caso, la búsqueda de esta sustancia mágica permitió descubrir varios fármacos que podían usarse para las enfermedades más habituales. Del mismo modo que en Europa, los médicos chinos usaban extractos de plantas para curar las enfermedades, pero también elaboraban compuestos con sulfuro, mercurio y otras sustancias. Para tratar la fiebre se utilizaba la artemisa, que se aplicaba en forma de extracto y se quemaba en puntos específicos de la piel para ayudar al flujo de los «jugos vitales». La receta y el método se descubrieron recientemente en un libro sobre medicamentos escrito hace unos mil ochocientos años. Una vez probado en un laboratorio moderno, se descubrió que resultaba efectivo contra la malaria, la primera causa de muerte en los países tropicales hoy en día. Uno de los síntomas de la malaria es la fiebre alta.

En China empezaron a escribirse libros de medicina ya en el siglo II a.C., y la medicina china ha pervivido hasta nuestros días. La acupuntura, una técnica que consiste en

clavar agujas en ciertas zonas del cuerpo, es una práctica extendida que ayuda a curar las enfermedades, tratar el estrés y aliviar el dolor. Se basa en la idea de que en el cuerpo hay una serie de canales a través de los cuales fluye la energía del chi, y los acupuntores utilizan las agujas para estimular o desbloquear dichos canales. En ocasiones, se realizan operaciones en las que hace falta poco más que insertar las agujas en el cuerpo del paciente para bloquear el dolor. Los científicos chinos modernos trabajan del mismo modo que sus colegas occidentales, pero la medicina tradicional china tiene muchos seguidores en todo el mundo.

Lo mismo ocurre con la medicina tradicional india, llamada «ayurveda» y basada en tratados con el mismo nombre escritos en la lengua tradicional, el sánscrito, entre el 200 a.C. y el 600. Según el ayurveda, en el cuerpo existen unos fluidos llamados *doshas*. Los hay de tres clases: el *vata* es seco, frío y ligero; el *pitta* es cálido, amargo y agrio, y el *khapa* es frío, pesado y dulce. Estos *doshas* son necesarios para el correcto funcionamiento de nuestro cuerpo, y cuando hay demasiado o demasiado poco de uno de ellos, o cuando se encuentran en el sitio equivocado, se manifiesta la enfermedad. El examen de la piel del paciente así como de su pulso resultaba de vital importancia para que los médicos indios diagnosticaran la enfermedad, y el desequilibrio podía curarse mediante fármacos, masajes y dietas especiales. Los médicos indios usaban el jugo de amapola, con el que se produce el opio, para calmar a sus pacientes y aliviar el dolor.

Otro tratado médico indio, el *Susruta*, se centra en la cirugía, y algunas de las operaciones que describe resultaban de una delicadeza remarcable para ser de este periodo. Por

ejemplo, cuando un paciente sufría cataratas (una opacidad de las lentes del ojo que impide ver con claridad), el cirujano introducía con cuidado una aguja en el globo ocular y apartaba a un lado la catarata. Los cirujanos también utilizaban injertos de la propia piel del paciente para reparar las narices dañadas, en lo que probablemente sea uno de los primeros ejemplos de lo que hoy conocemos como cirugía plástica.

La medicina ayurvédica estaba relacionada con los médicos hindúes. Cuando los musulmanes se instalaron en India alrededor de 1590, trajeron consigo sus propias prácticas médicas, basadas en la antigua medicina griega interpretada por los primeros doctores musulmanes. Esta medicina, llamada «yunani» (que significa «griego»), se desarrolló junto con el sistema ayurvédico, y ambas siguen aplicándose hoy en día en India junto con las prácticas de la medicina occidental con las que todos estamos familiarizados.

India tiene sus propias tradiciones científicas. Los astrónomos indios interpretaban los cielos, las estrellas, el Sol y la Luna a través de los trabajos del astrónomo griego Ptolomeo y de algunos tratados científicos chinos que habían traído los misioneros budistas indios. En Ujjain había un observatorio y uno de los primeros científicos indios de cuyo nombre tenemos constancia, Varahamihira (*c.* 505), que trabajó allí recopilando antiguos tratados astronómicos y añadiendo sus propias observaciones. Mucho después, en el siglo XVI, se construyeron sendos laboratorios en Delhi y Jaipur. El calendario indio era bastante preciso e, igual que los chinos, los indios creían que la Tierra era muy antigua y que uno de sus ciclos astronómicos duraba 4.320.000 años.

Los indios también compartían con los chinos la búsqueda del elixir que alargaba la vida, así como del método para transformar los metales vulgares en oro. Pero la contribución científica más importante de los indios fueron las matemáticas.

Es gracias a los indios, y a través de Oriente Próximo, que disponemos de nuestro sistema numérico, llamado «arábigo»: los conocidos 1, 2, 3, etc. El concepto de cero también se originó en India. Junto con los números que usamos hoy en día, las matemáticas indias introdujeron la idea básica de «marcador de posición». Toma por ejemplo el número 170. El 1 = 100 ocupa el lugar de las centenas; el 7 = 70 ocupa el lugar de las decenas, mientras que el 0 ocupa el lugar de las unidades. Es algo que nos resulta tan natural que ni siquiera pensamos en ello, pero si no dispusiéramos del «marcador de posición», sería mucho más difícil escribir números largos. El más famoso de los antiguos matemáticos indios, Brahmagutpa, que vivió en el siglo VII, descubrió el modo de calcular el volumen de los prismas y otras figuras. También fue la primera persona en mencionar el número 0, y estableció que cualquier número multiplicado por 0 da 0. Pasaron casi quinientos años antes de que otro matemático indio, Bhaskara (n. 1115), estableciera que cualquier número dividido entre 0 daría como resultado infinito. Las modernas explicaciones matemáticas del universo serían imposibles sin estos conceptos.

Mientras que los sistemas médicos tradicionales de India y China aún compiten con la medicina occidental, no ocurre lo mismo con la ciencia. Los científicos de estos dos países trabajan con las mismas ideas, herramientas y objetivos que sus colegas del resto del mundo. Ya sea en Asia o en

cualquier otra parte, la ciencia es ahora una ciencia universal, que se desarrolló en Occidente.

Pero no hay que olvidar que los números proceden de India y el papel, de China. Escribe la tabla del nueve y estarás usando una aportación muy antigua originaria de Oriente.

Los átomos y el vacío

Alrededor del año 454 a.C. el historiador griego Herodoto (*c.* 485-425 a.C.) visitó Egipto e, igual que nosotros, se quedó asombrado con las pirámides y las estatuas gigantes de Tebas (de unos veinte metros de alto), en el curso superior del Nilo. Le resultaba difícil entender lo antiguo que era todo. La época de esplendor de Egipto había terminado y hacía mucho tiempo que los persas la habían sobrepasado. Herodoto vivía en una sociedad mucho más joven y vigorosa que estaba todavía en su esplendor y que conquistaría Egipto un siglo más tarde, bajo el mando de Alejando Magno (356-323 a.C.).

En la época de Herodoto, la gente que pensaba y escribía en griego dominaba un área creciente del Mediterráneo oriental. En esta sociedad habían surgido las obras de Homero, el poeta ciego, como la historia de la derrota de los troyanos a manos de los griegos gracias a la construcción de un caballo gigante dentro del cual se escondieron, o el fantástico viaje de regreso a casa del héroe griego Ulises, participante en la guerra de Troya. Los griegos eran grandes constructores navales, comerciantes y pensadores.

Uno de estos primeros pensadores fue Tales (*c.* 625-545 a.C.), un mercader, astrónomo y matemático de Mileto, en la costa de la actual Turquía. Nada de lo que escribió ha llegado directamente hasta nuestros días, pero hubo autores posteriores que lo citaron y que relataron anécdotas que ilustraban su carácter. En una de ellas se cuenta que en una ocasión estaba tan concentrado contemplando las estrellas que se olvidó de mirar por dónde andaba y cayó en un pozo. En otro relato sale mucho mejor parado: gracias a su inteligencia, fue capaz de prever que iba a haber una gran cosecha de aceitunas, de modo que antes de la recolección, cuando nadie las necesitaba, alquiló todas las prensas; tras la recogida de las aceitunas, pudo realquilarlas y obtuvo con ello grandes beneficios. Tales no fue el primer profesor despistado (más adelante conoceremos a unos cuantos) ni el único en conseguir dinero aplicando sus conocimientos.

Se decía que Tales había visitado Egipto y que había difundido las matemáticas egipcias entre los griegos. Tal vez se trate de otro cuento, como el que afirma que predijo con precisión un eclipse total de Sol (no dominaba lo suficiente la astronomía para ello). Más creíble resulta el modo en que trató de explicar los sucesos naturales, como la fertilización de la tierra gracias a la crecida del Nilo o el origen de los terremotos en el sobrecalentamiento del agua en el interior de la corteza terrestre. Para Tales el agua era el elemento principal, y describió la Tierra como un disco que flotaba sobre un enorme océano. A nosotros puede sonarnos gracioso, pero el caso es que Tales tenía una verdadera intención de explicar las cosas en términos naturales, más que sobrenaturales. Los egipcios creían que los causantes de la crecida del Nilo eran los dioses.

A diferencia de Tales, Anaximandro (*c.* 611-547 a.C.), también originario de Mileto, creía que la sustancia más importante del universo era el fuego. Fue Empédocles (*c.* 500-430 a.C.), un filósofo de Sicilia, quien estableció que existían cuatro elementos: aire, tierra, fuego y agua. Esta división nos resulta familiar porque se convirtió en el paradigma generalizado durante casi dos mil años, hasta finales de la Edad Media.

Que fuera el paradigma generalizado no significa que absolutamente todo el mundo aceptara el esquema de los cuatro elementos como una verdad absoluta. Tanto en Grecia como más tarde en Roma, un grupo de filósofos conocidos como los «atomistas» creía que el mundo estaba formado por partículas diminutas llamadas átomos. El más famoso de estos primeros atomistas era Demócrito, que vivió aproximadamente en 420 a.C. y cuyas ideas conocemos a través de algunos fragmentos de su pensamiento que citaron otros autores. Demócrito creía que en el universo había muchísimos átomos, y que éstos habían existido siempre: los átomos no podían dividirse ni destruirse. Aunque eran demasiado pequeños para ser vistos, creía que tenían distintas formas y tamaños, ya que ello explicaría por qué las cosas formadas por átomos tenían diferentes gustos, texturas y colores. Aunque estas cualidades sólo existían porque los humanos tenemos gusto, sentimientos y vista. En realidad, según Demócrito, lo único que existe son «átomos en el vacío», lo que nosotros denominamos materia y espacio.

Las teorías de los atomistas no eran muy populares, sobre todo la opinión de Demócrito y sus seguidores de que los seres humanos «evolucionaban» gracias al ensayo y el

error. Una curiosa hipótesis sugería que en un origen había existido un gran número de partes de plantas y animales que podían combinarse potencialmente de cualquier modo (una trompa de elefante con un pez, un pétalo de rosa con una patata…), antes de que al final se unieran tal y como las conocemos ahora. La idea era que si la pata de un perro se juntaba por accidente con un gato, ese animal no sobreviviría, así que no habría ningún gato con patas de perro. Es por ello que, tras un periodo de tiempo, todas las patas de perro terminaron en los perros y, gracias a Dios, todas las piernas humanas terminaron en los humanos. (Existe otra versión griega de la evolución que resulta más realista, aunque un poco repulsiva: todos los seres vivos habrían cobrado vida a partir de un limo original y muy antiguo.)

Dado que el atomismo no establecía un propósito final ni un gran diseño del universo, sino que en él las cosas sucedían por suerte y necesidad, a la mayoría de la gente no le gustó. Se trata de un punto de vista desalentador, y la mayoría de los filósofos griegos buscaban un propósito, la verdad y la belleza. Los coetáneos de Demócrito y sus seguidores atomistas estaban al tanto de todos sus argumentos; lo que sabemos de ellos nos ha llegado a través de las citas y las discusiones de filósofos posteriores. Lucrecio (*c.* 100-55 a.C.), un atomista que vivió en la época romana, escribió un bello poema científico, *De rerum natura* (Sobre la naturaleza de las cosas), en el que describía en términos atomistas los cielos, la Tierra y todo lo que había sobre ella, incluida la evolución de las sociedades humanas.

Conocemos los nombres y algunas de las contribuciones de docenas de antiguos científicos y matemáticos griegos

que abarcan un periodo de casi mil años. Aristóteles fue uno de los más destacados. Su concepción de la naturaleza era tan potente que constituyó un referente hasta mucho después de su muerte (volveremos a ello en el capítulo 5). Pero hay tres personas que vivieron después de Aristóteles que hicieron contribuciones especialmente significativas al incipiente desarrollo de la ciencia.

Euclides (*c.* 330-*c.* 260 a.C.) no fue el primero en sumergirse en la geometría (los babilonios era expertos en ella), pero sí el que reunió en una especie de libro de texto los presupuestos, las reglas y los procesos básicos de la materia. La geometría constituye una rama práctica de las matemáticas referida al espacio: puntos, líneas, superficies, volúmenes. Euclides describió conceptos geométricos, como que dos líneas paralelas nunca se encuentran o que los ángulos de un triángulo suman 180 grados. Su libro *Elementos* fue admirado y estudiado en toda Europa; es posible que también vosotros estudiéis algún día su «geometría plana», y espero que descubráis su clara y sencilla belleza.

El segundo de este trío de grandes científicos, Eratóstenes (*c.* 284-*c.* 192 a.C.), estableció el diámetro de la circunferencia de la Tierra de un modo sencillo pero ingenioso: mediante la geometría. Sabiendo que en el solsticio de verano, el día más largo del año, el Sol estaba justo encima de un lugar llamado Siena, midió el ángulo del Sol en ese mismo día sobre Alejandría (donde trabajaba como bibliotecario de su famoso museo y librería), a unos cinco mil estadios al norte de Siena. (El estadio era una unidad de longitud griega, que equivale a unos ciento cincuenta metros.) A partir de estas mediciones utilizó la

geometría para calcular que la Tierra tenía unos 250.000 estadios de diámetro. ¿Era una medición certera? La verdad es que la aproximación de 40.074 kilómetros de Eratóstenes no se aleja mucho de los 40.008 kilómetros alrededor del Ecuador calculados en la actualidad. Hay que remarcar que Eratóstenes pensaba que la Tierra era redonda; la creencia de que ésta era una enorme superficie plana y que la gente podía caer por el borde no siempre había sido generalizada, a pesar de las historias que se cuentan sobre Cristóbal Colón y su viaje a América.

El último de los tres grandes científicos griegos también trabajaba en Alejandría, la ciudad del norte de Egipto fundada por Alejandro Magno. Claudio Ptolomeo (*c.* 100-*c.* 178), como muchos otros científicos del mundo antiguo, tenía intereses muy amplios. Escribió sobre música, geografía y la naturaleza y el comportamiento de la luz, aunque el trabajo que le dio una fama perdurable fue *Almagesto*, según el título que le pusieron los árabes. En este libro, Ptolomeo reunió y desarrolló las observaciones de numerosos astrónomos griegos, entre ellas mapas celestes, cálculos sobre el movimiento de los planetas, la Luna, el Sol y las estrellas, y la estructura del universo. Como todo el mundo en su época, daba por hecho que la Tierra era el centro de todo y que el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas giraban a su alrededor en trayectorias circulares. Ptolomeo era un gran matemático y descubrió que, si introducía algunas correcciones, podía explicar los movimientos de los planetas que tanto él como mucha gente antes que él habían percibido.

Resulta bastante difícil justificar que el Sol gira alrededor de la Tierra cuando en realidad ocurre lo contrario. El libro

de Ptolomeo fue de lectura obligada para los astrónomos de los países islámicos y de la Europa medieval, hasta el punto de convertirse en uno de los primeros libros en traducirse al árabe y luego al latín. De hecho, muchos consideraban que Ptolomeo estaba a la altura de Hipócrates, Aristóteles y Galeno, aunque para nosotros, estos tres personajes merecen cada uno su propio capítulo.

El padre de la medicina

Hipócrates

La próxima vez que vayas al médico, pregúntale si realizó el juramento hipocrático cuando obtuvo la licenciatura. No todas las facultades de Medicina modernas establecen el requisito de recitarlo, pero algunas sí, y este juramento, escrito hace más de dos mil años, aún tiene cosas que transmitirnos. Pronto las veremos.

Aunque el nombre de Hipócrates se relaciona con su famoso juramento, lo más probable es que no fuera él quien lo escribió. De hecho, sólo redactó unos pocos de los sesenta o más tratados (obras cortas sobre temas específicos) que llevan su nombre. Sabemos muy pocas cosas sobre Hipócrates el hombre. Nació alrededor del 460 a.C. en la isla de Cos, no muy lejos de la actual Turquía. Trabajó como doctor, enseñó Medicina (para conseguir dinero) y tuvo dos hijos y un yerno que fueron todos médicos. Es una larga historia de tradición familiar.

El *Corpus hippocraticum* (un corpus es un conjunto de obras) fue escrito de hecho por diversos individuos durante un largo periodo de tiempo, tal vez doscientos cincuenta años. Los varios tratados del corpus defienden distintos

puntos de vista y tratan numerosos temas: el diagnóstico y el tratamiento de la enfermedad, cómo enfrentarse a los huesos rotos y las articulaciones dislocadas, las epidemias, cómo mantener la salud, qué comer y cómo puede influir el entorno en nuestra salud. Los tratados también ayudan al doctor a saber cómo comportarse, tanto con sus pacientes como con otros médicos. En resumen, los escritos hipocráticos cubren todos los aspectos de la medicina tal como se practicaba en aquella época.

Igual de notable que el abanico de temas tratados es la cantidad de tiempo que hace que se escribieron. Hipócrates vivió antes que Sócrates, Platón y Aristóteles, y en Cos, una isla pequeña y remota. Es sorprendente que haya sobrevivido cualquier escrito de esa época. Por entonces no había imprentas; las palabras debían copiarse a mano laboriosamente sobre pergamino, arcilla u otras superficies, y luego pasaban de persona a persona. La tinta se va desvaneciendo, las guerras suponen destrucción y los insectos y el tiempo se cobran su peaje. Cuantas más copias se hicieran, más oportunidades había de que sobrevivieran.

Los tratados hipocráticos constituyen la base de la medicina occidental, y es por eso que Hipócrates sigue ocupando una posición preeminente. Durante siglos, la práctica médica se ha guiado por tres principios generales. El primero se encuentra aún hoy en la base de nuestra ciencia médica: la firme creencia de que la gente enferma debido a causas «naturales» que tienen una explicación racional. Antes de los hipocráticos, en Grecia y en las tierras vecinas se creía que la enfermedad tenía una dimensión sobrenatural y que la gente caía enferma por haber ofendido a los dioses, o porque alguien con poderes sobrenaturales le

lanzaba un sortilegio o se sentía contrariado con él. Y si las brujas, los magos y los dioses eran los causantes de las enfermedades, era mejor dejar que fueran los sacerdotes o los magos quienes averiguaran por qué éstas se habían manifestado y cuál era el mejor modo de curarlas. Aún hoy en día, mucha gente utiliza remedios mágicos o acude a curanderos.

Los hipocráticos no eran curanderos, sino médicos que creían que la enfermedad era un suceso normal y natural. En un tratado titulado *Sobre la enfermedad sagrada* se refleja esta idea. Se trata de un texto breve sobre la epilepsia, un trastorno tan habitual entonces como ahora, no en vano se cree que tanto Alejandro Magno como Julio César lo padecían. La gente con epilepsia sufre ataques durante los cuales pierde la conciencia y experimenta espasmos musculares, al tiempo que su cuerpo se retuerce. A veces incluso se orinan encima. Poco a poco, el ataque remite y recuperan el control sobre su cuerpo y sus funciones mentales. Aquellos que sufren de epilepsia hoy en día lo ven como un episodio «normal» aunque incómodo, pero ver a alguien en pleno ataque epiléptico puede resultar perturbador. Para los antiguos griegos los ataques eran tan dramáticos y misteriosos que daban por hecho que se debían a causas divinas. Por ello la llamaban la «enfermedad sagrada».

El autor hipocrático del tratado no estaba de acuerdo. En su primera y famosa frase afirma con rotundidad: «No creo que la "enfermedad sagrada" sea más divina o sagrada que cualquier otra, sino que, por el contrario, tiene características específicas y una causa definida. Sin embargo, debido a su naturaleza completamente diferente de cualquier

otra enfermedad, se ha considerado como una visita divina por aquellos que, al ser sólo humanos, la contemplan con ignorancia y asombro». La teoría del autor era que la causa de la epilepsia era un bloqueo de la flema en el cerebro. Como la mayoría de las teorías científicas y médicas, con el tiempo ha sido reemplazada por otras mejores. Pero la afirmación de que no puede atribuirse una causa sobrenatural a una enfermedad sólo porque sea poco habitual, misteriosa o difícil de explicar constituye un principio que ha gobernado la ciencia a lo largo de los siglos. Tal vez no la entendamos ahora, pero con paciencia y trabajo duro, podemos hacerlo. Este argumento es uno de los más duraderos que nos han legado los hipocráticos.

El segundo principio hipocrático afirma que tanto la salud como la enfermedad son causadas por los «humores» de nuestros cuerpos (por ello se dice que una persona está de buen o mal humor). Esta idea se desarrolla con claridad en el tratado *Sobre la naturaleza del hombre*, que podría haber escrito el yerno de Hipócrates. Otros tratados hipocráticos señalan dos humores, la flema y la bilis amarilla, como causas de la enfermedad, pero en *Sobre la naturaleza del hombre* se añaden dos más: la sangre y la bilis negra. El autor argumenta que estos cuatro humores juegan un papel esencial en nuestra salud, y cuando se desequilibran (cuando hay un exceso de uno o una carencia de otro), el cuerpo enferma. Es probable que hayas visto tus propios fluidos corporales cuando has estado enfermo: cuando tenemos fiebre, sudamos; cuando tenemos un catarro o una infección pulmonar, nos caen mocos de la nariz y tosemos flema; cuando nos duele la barriga, vomitamos, mientras que la diarrea expulsa fluidos por el otro extremo del aparato

digestivo, y un arañazo o un corte nos hacen sangrar. Hoy en día es menos habitual la ictericia, que provoca la amarillez de la piel y puede ser causada por diversas enfermedades que afectan a aquellos órganos que producen los fluidos corporales, incluida la malaria, muy común en la antigua Grecia.

Los hipocráticos asociaban cada uno de estos humores con un órgano del cuerpo: la sangre con el corazón, la bilis amarilla con el hígado, la bilis negra con el bazo y la flema con el cerebro. Otras enfermedades, aparte de los catarros o la diarrea, con el obvio cambio en los fluidos, se asociaban también a la variación en los humores. Cada uno de ellos tenía sus propiedades: la sangre es cálida y húmeda; la flema, fría y húmeda; la bilis amarilla, cálida y seca, y la bilis negra, fría y seca. Se trata de síntomas que de hecho son perceptibles en los enfermos: cuando una herida se inflama con sangre, está caliente, y cuando tenemos un resfriado sentimos fiebre y escalofríos. (Galeno, que desarrolló las ideas hipocráticas unos seiscientos años después, también atribuyó las mismas características –calor, frío, humedad y sequedad– a la comida o los medicamentos que tomamos.)

El remedio para todas las enfermedades consistía en restaurar el equilibrio de humores adecuado para cada paciente. Eso significaba que en la práctica la medicina hipocrática implicaba más dificultad que limitarse a seguir las instrucciones para que cada humor recuperara su estado «natural», pues cada paciente tenía su propio equilibrio de humores particular, de modo que el doctor debía saberlo todo sobre él: dónde vivía, qué comía, cómo se ganaba la vida… Sólo a través del conocimiento profundo del paciente podía explicársele lo que era probable que ocurriera, es

decir, darle una *prognosis*. Cuando estamos enfermos, lo que más deseamos es saber qué podemos esperar y cómo podemos mejorar. Los médicos hipocráticos dedicaban gran parte de su esfuerzo a prever lo que iba a ocurrir, y si acertaban incrementaban su reputación y conseguían más pacientes.

La medicina que aprendían los hipocráticos y que luego transmitían a sus alumnos (a menudo sus hijos o yernos) se basaba en una meticulosa observación de las enfermedades y el curso que tomaban. Luego anotaban sus experiencias, a menudo en forma de frases cortas llamadas «aforismos». De hecho, uno de los escritos hipocráticos más usado por los médicos posteriores fueros los *Aforismos*.

La tercera aproximación a la salud y la enfermedad por parte de los hipocráticos se resume en la frase latina *vis medicatrix naturae*, que significa «el poder sanador de la naturaleza». Hipócrates y sus discípulos interpretaban el movimiento de los humores durante la enfermedad como una señal del esfuerzo del cuerpo por curarse a sí mismo. El sudor, la expulsión de flema, el vómito y los abscesos de pus se veían como un mecanismo por el que el cuerpo expulsaba –o cocinaba (utilizaban muchas metáforas culinarias)– los humores para deshacerse de su exceso o modificar o purificar los malos humores que la enfermedad había alterado. El trabajo del doctor era pues ayudar a la naturaleza en el proceso natural de curación. El médico era el servidor de la naturaleza, no su dueño, y para discernir el proceso de la enfermedad era necesaria una atenta observación de lo que ocurría exactamente durante ésta. Mucho tiempo después un médico acuñó la expresión «enfermedad autolimitada» para describir esta tendencia, y

todos sabemos que muchas enfermedades mejoran por sí mismas. A veces los doctores hacen la broma de que si tratan una enfermedad se curará en una semana, pero si no lo hacen, harán falta siete días. Los hipocráticos habrían estado de acuerdo.

Además de sus numerosos textos sobre medicina y cirugía, higiene y epidemias, los hipocráticos nos legaron el juramento, que sigue siendo fuente de inspiración para los médicos contemporáneos. Parte de este breve documento hace referencia a la relación entre el joven estudiante y su maestro, así como a las relaciones entre médicos. La mayor parte, sin embargo, trata sobre el comportamiento que los médicos deben observar con sus pacientes. No deben nunca aprovecharse de ellos, compartir los secretos que pueda transmitirles el enfermo o administrarles un veneno. Todos estos aspectos siguen siendo fundamentales en la ética médica actual, pero hay una afirmación en el juramento que resulta particularmente intemporal: «Usaré mi poder para ayudar a los enfermos en la medida de mi capacidad y mi juicio; me abstendré de dañar o hacer el mal a cualquier hombre a través de él». El objetivo de un médico sigue siendo no causar ningún daño a los enfermos.

«El maestro de los que saben»

Aristóteles

«Por naturaleza, todos los hombres desean saber», dijo Aristóteles. Es probable que hayas conocido a alguien así, siempre deseoso de aprender. Tal vez también te hayas cruzado con sabelotodos que han perdido la curiosidad, que siempre resultó tan importante para Aristóteles. Su optimista opinión era que la gente se esforzaría por adquirir conocimientos acerca de ella misma y del mundo, aunque sabemos que, por desgracia, no siempre es así.

Aristóteles dedicó toda su vida a aprender y enseñar. Nació en 384 a.C. en Estagira, en Tracia (la actual Calcídica griega), y aunque era hijo de un médico, desde los diez años fue su tutor Proxeno, quien lo cuidó e instruyó. A los diecisiete, se dirigió a Atenas a estudiar en la famosa Academia de Platón y se quedó allí veinte años. Aunque el enfoque de Aristóteles respecto a la naturaleza era diferente por completo del de Platón, siempre se sintió muy unido a su profesor y escribió con mucho cariño sobre su obra tras la muerte de éste en el 347 a.C. Hay quien dice que la historia de la filosofía occidental es una serie de notas al pie sobre Platón, lo cual viene a decir que éste planteó muchas de las

preguntas a las que los filósofos siguen dando vueltas. ¿Cuál es la naturaleza de la belleza? ¿Qué es la verdad o el conocimiento? ¿Cómo podemos ser buenos? ¿Cuál es la mejor forma de organizar nuestras sociedades? ¿Quién crea las normas por las que nos regimos? ¿Qué nos dice nuestra experiencia de las cosas del mundo sobre lo que «realmente» son?

Aristóteles también se sentía intrigado por muchas de estas cuestiones filosóficas, pero se inclinaba por contestarlas de un modo que podríamos llamar «científico». Como Platón, era un filósofo, pero era un filósofo *de la naturaleza*, lo que nosotros denominaríamos un «científico». La rama de la filosofía que más le atraía era la lógica, que explora la forma de pensar con más claridad. Su mayor preocupación era el mundo que le rodeaba, el de la Tierra y el de los cielos, y el modo en que cambiaban las cosas en la naturaleza.

Gran parte de lo que escribió se ha perdido, pero por suerte nos quedan algunas de las notas de sus disertaciones. Tras la muerte de Platón abandonó Atenas, probablemente porque, en tanto que extranjero, no se sentía seguro allí. Pasó algunos años en la ciudad de Aso (en la actual Turquía), donde abrió una escuela, se casó con la hija de un dirigente local y, tras la muerte de ésta, vivió con una esclava con la que tuvo un hijo, Nicómaco. Fue allí donde Aristóteles empezó sus investigaciones biológicas, que continuó en la isla de Lesbos. En el 343 a.C. Aristóteles aceptó un trabajo muy importante: convertirse en el tutor de Alejandro Magno, en Macedonia (en la actualidad, un país independiente al norte de Grecia). Su esperanza era convertir a su pupilo en un gobernante con sensibilidad

filosófica, y aunque no lo consiguió, Alejandro se convirtió en el mandatario de gran parte del mundo conocido, incluida Atenas, así que Aristóteles pudo regresar sin riesgos a dicha ciudad. En lugar de reintegrarse en la Academia de Platón, Aristóteles fundó una nueva escuela en los alrededores de Atenas. Ésta disponía de un camino de acceso público (*peripatos* en griego), de modo que los seguidores de Aristóteles acabaron siendo conocidos como los «peripatéticos», o aquellos que están en constante movimiento, un nombre apropiado teniendo en cuenta hasta qué punto el propio Aristóteles estaba siempre desplazándose de un lugar a otro. Tras la muerte de Alejandro, Aristóteles se trasladó por última vez, en esta ocasión a Calcis, donde falleció poco después.

A Aristóteles le habría sorprendido que le describieran como un científico; él se consideraba un simple filósofo en el sentido literal de la palabra: alguien que amaba el conocimiento. Pero se pasó toda la vida tratando de dar sentido al mundo que le rodeaba, y con métodos que hoy en día consideraríamos científicos. Su concepción de la Tierra, las criaturas que en ella habitaban y los cielos que la rodeaban influyó en nuestra forma de comprender el mundo durante más de mil quinientos años. Junto con Galeno, ocupa un lugar prominente entre los pensadores de la Antigüedad. Está claro que su trabajo se basa en el de sus predecesores, pero él no era un filósofo de salón; de hecho, no dudó en involucrarse en el mundo material al tiempo que trataba de entenderlo.

Su ciencia puede dividirse en tres partes: el mundo vivo (plantas y animales, entre ellos los seres humanos); la naturaleza del cambio, o movimiento, descrita sobre todo en

su tratado *Física*; y la estructura de los cielos, o la relación entre la Tierra y la Luna, las estrellas y otros cuerpos celestes.

Aristóteles dedicó gran parte de su tiempo a estudiar cómo encajaban y funcionaban las plantas y los animales. Su objetivo era averiguar cómo se desarrollaban antes del nacimiento, la eclosión o la germinación, y cómo crecían después. No disponía de microscopios, pero no hay duda de que tenía una buena vista. Describió brillantemente el modo en que los pollitos se desarrollaban dentro del huevo: tras una puesta de huevos, se dedicó a partir uno cada día. El primer signo de vida que distinguió fue una diminuta mancha de sangre que latía en lo que más tarde se convertiría en el corazón del polluelo, lo cual le convenció de que este órgano era el más importante de los animales. Creía que el corazón era el centro de las emociones y de lo que llamamos vida mental. Platón (y los hipocráticos) había ubicado estas funciones psicológicas en el cerebro, y estaba en lo cierto. Sin embargo, cuando estamos asustados, nerviosos o enamorados, nuestro corazón late más rápido, así que la teoría de Aristóteles tampoco era absurda. Él atribuía las funciones de los animales superiores, como los seres humanos, a las actividades de un «alma» que tenía varías facultades o funciones. En los humanos, el alma tenía seis funciones principales: nutrición y reproducción, sensación, deseo, movimiento, imaginación y razón.

Todos los seres vivos comparten alguna de estas habilidades. Las plantas, por ejemplo, pueden crecer y reproducirse; los insectos, como las hormigas, también pueden moverse y sentir. Otros animales mayores y más inteligentes adquieren más funciones, pero Aristóteles creía

que sólo los seres humanos podían razonar, por lo que se hallaban en lo más alto de la *scala naturae* («escala natural o cadena del ser»). Se trata de una especie de escalera en la que pueden colocarse todos los seres vivos, empezando con las plantas y subiendo. Esta idea fue adoptada de forma repetida por diversos naturalistas, personas que estudian la naturaleza, sobre todo los animales y las plantas. En los capítulos posteriores hallarás más información al respecto.

Aristóteles tenía un buen método para averiguar qué hacen las distintas partes de una planta o un animal, como las hojas, las alas, el estómago o los riñones. Dedujo que la estructura de cada parte estaba diseñada para una función concreta: las alas para volar, el estómago para la digestión de la comida y los riñones para procesar la orina. Este tipo de pensamiento se denomina teleológico: el *telos* es una causa final, y esta forma de pensamiento se caracteriza por centrarse en la constitución de las cosas o las funciones que realizan. Si pensamos en una taza o un par de zapatos, nos daremos cuenta de que ambos tienen la forma que tienen porque la persona que los fabricó tenía un propósito concreto en mente: retener líquidos en su interior para beberlos, y proteger los pies al caminar. El razonamiento teleológico aparecerá en otros pasajes de este libro, no sólo para explicar el porqué de las diversas partes de las plantas y los animales, sino el mundo físico en un sentido más amplio.

Las plantas germinan y los animales nacen; luego crecen y mueren. Las estaciones se suceden con regularidad. Si dejas caer algo, golpeará el suelo. Aristóteles deseaba explicar este tipo de cambios. Había dos ideas especialmente importantes para él: la potencialidad y la realidad. Es probable que profesores y padres te animen a alcanzar tu

potencial, lo que suele significar sacar las mejores notas posibles en un examen o correr tan rápido como puedas en una carrera. Esto refleja de forma parcial la idea de Aristóteles, pero él distinguía una clase distinta de potencial en las cosas. Desde su punto de vista, un montón de ladrillos tenía el potencial de convertirse en una casa, y un bloque de piedra, de convertirse en una estatua. La construcción y la talla transformaban estos objetos inanimados de un estado potencial en una cosa terminada, o «realidad». La realidad era la meta de la potencialidad, el momento en que las cosas con potencialidad encuentran su «estado natural». Por ejemplo, cuando las cosas caen, como las manzanas del árbol, Aristóteles creía que buscaban su estado «natural», que se halla sobre la tierra. Una manzana no abriría de repente sus alas y echaría a volar, porque tanto ella como el resto de cosas de nuestro mundo buscan la tierra, y una manzana voladora sería antinatural. Esa manzana caída continuaría cambiando, se pudriría si nadie la recogía y se la comía, porque eso formaba también parte del ciclo del crecimiento y la decadencia. Pero al caer, había adquirido una especie de realidad. Incluso los pájaros regresan a la tierra después de surcar los cielos.

Si el lugar de descanso «natural» de las cosas es la tierra firme, ¿qué pasa con la Luna, el Sol, los planetas y las estrellas? Son cuerpos que se mantienen en lo alto, como una manzana colgada en un árbol o un peñasco en el saliente de una montaña, pero nunca caen sobre la tierra. Lo cual es algo bueno. La respuesta de Aristóteles era sencilla: por debajo de la Luna, el cambio es la norma habitual, debido a que el mundo está constituido por los cuatro elementos (fuego, aire, tierra y agua) y sus propiedades

(calor y sequedad en el fuego, calor y humedad en el aire, frío y sequedad en la tierra, y frío y humedad en el agua). Pero por encima de la Luna, en cambio, los objetos están compuestos por un quinto elemento inmutable, la quintaesencia. Los cuerpos celestes se desplazan eternamente en un movimiento circular; el Sol, la Luna y las estrellas llevan toda la eternidad desplazándose alrededor de la Tierra, que se halla en el centro de todos ellos. Se da aquí una hermosa paradoja, puesto que la Tierra, el centro, es también la única parte del universo en la que se manifiestan el cambio y el declive.

¿Cuál era la causa original de todos estos movimientos alrededor de la Tierra? Las causas eran uno de los principales focos de interés de Aristóteles, que desarrolló un esquema para tratar de explicarlas dividiéndolas en cuatro clases: materiales, formales, eficientes y finales. Creía que todas las actividades humanas, así como los acontecimientos del mundo, podían diseccionarse y entenderse de este modo. Piensa en la talla de una estatua a partir de un bloque de piedra. La propia piedra es la causa *material*, la materia de que está hecha. La persona que crea la estatua lo organiza todo de una forma concreta, *formal*, para que ésta tome forma. La causa *eficiente* es el acto de cincelar la piedra para obtener una forma, y la causa *final* es la idea que el escultor tenía en mente (podría ser la forma de un perro o de un caballo, por ejemplo), que es también el plan que originó todo el proceso.

La ciencia siempre se ha ocupado de las causas: los científicos quieren saber qué ocurre y por qué. ¿Qué hace que una célula empiece a dividirse una y otra vez, con el resultado del desarrollo de un cáncer? ¿Qué es lo que hace

que las hojas se vuelvan marrones, amarillas y rojas en otoño, cuando han sido verdes durante todo el verano? ¿Por qué el pan sube cuando pones levadura en la masa? Estas y otras preguntas similares pueden responderse en términos de «causas». A veces las respuestas son sencillas, a veces, complicadas. En la mayor parte de los casos, los científicos se enfrentan a lo que Aristóteles denominaba causas eficientes, pero las materiales y las formales también son importantes. Las causas finales generan un conjunto de problemas distinto. En los experimentos actuales, los científicos se limitan a explicar los procesos en lugar de buscar una explicación más amplia o la causa final, que se relaciona más con la religión o la filosofía.

En el siglo IV a.C., sin embargo, Aristóteles creía que estas causas finales formaban parte del esquema. Al mirar el universo como un todo, sostenía que debía haber una causa final que pusiera en marcha todo el proceso de movimiento. La llamaba «primer motor inmóvil» y muchas religiones posteriores (el cristianismo, el judaísmo y el islam, por ejemplo) identificaron esta fuerza con su propio Dios. Ésta es una de las razones por las que siguió considerándose a Aristóteles un influyente pensador: creó una visión del mundo que dominó la ciencia durante casi dos mil años.

El médico del emperador

Galeno

Galeno (129-*c.* 210) fue un hombre muy inteligente al que no le importaba demostrarlo. Se pasaba la vida tomando notas y sus escritos están llenos de sus propias opiniones y logros. Sus palabras han llegado hasta nosotros más que las de cualquier otro autor de la Antigüedad, lo cual demuestra que la gente tenía en alta estima su trabajo. Existen veinte gruesos volúmenes a disposición de los lectores, y de hecho escribió muchos más. Así que sabemos mucho más de él que de cualquier otro pensador de la época, a lo que contribuye el hecho de que a Galeno también le encantaba escribir sobre sí mismo.

Galeno nació en Pérgamo, en la actual Turquía, que entonces se hallaba en los límites del Imperio romano. Su padre era un próspero arquitecto dedicado por entero a su hijo, al que proporcionó una sólida educación (en griego) que incluía la filosofía y las matemáticas. Quién sabe qué habría ocurrido si su padre no hubiera tenido un potente sueño en el que vio que su hijo debía convertirse en médico, pero el caso es que Galeno cambió sus estudios por los de Medicina. Después de que la muerte de su padre le dejara en

una posición acomodada, dedicó varios años a viajar y aprender, y pasó mucho tiempo en la famosa librería y museo de Alejandría, en Egipto.

De vuelta en Pérgamo, se convirtió en el médico de los gladiadores, los hombres encargados de entretener a los ciudadanos pudientes peleándose entre ellos o con leones y otras bestias en la arena. Ocuparse de ellos era un trabajo importante, puesto que a aquellos pobres hombres había que recomponerlos entre los espectáculos para que pudieran seguir luchando. Por lo que él mismo contó, tuvo mucho éxito. Adquirió una dramática experiencia en el tratamiento quirúrgico de las heridas y también una considerable reputación entre los ricos, y en el año 160 se trasladó a Roma, la capital del Imperio romano. Allí empezó a escribir sobre anatomía (el estudio de las estructuras corporales de humanos y animales) y fisiología (el estudio de lo que realizan esas estructuras). Asimismo, se enroló en una expedición militar del emperador Marco Aurelio. Éste era el autor de la famosa serie *Meditaciones,* y ambos hombres discutieron de filosofía durante la larga campaña. Marco Aurelio apreciaba a Galeno, y Galeno sacaba provecho del apoyo del emperador. Eso le proporcionaba un flujo constante de pacientes importantes a los que, si creemos los informes del propio Galeno, curaba siempre que era posible.

El héroe médico de Galeno era Hipócrates, aunque éste llevaba quinientos años muerto. Galeno se veía a sí mismo como la persona destinada a completar y desarrollar el legado del maestro y, en muchos sentidos, eso fue lo que hizo. Añadió comentarios a muchos de los trabajos de Hipócrates y dio por hecho que los tratados que más se ajustaban a sus opiniones eran del mismo Hipócrates. Sus

comentarios siguen resultando valiosos, sobre todo porque Galeno era un experto lingüista con buen olfato para el significado cambiante de las palabras. Lo más importante que hizo fue trasladar la doctrina hipocrática de los humores a la forma utilizada durante más de mil años. ¡Eso sí que es tener influencia!

La idea central de la praxis médica de Galeno era la del equilibrio y el desequilibrio de los humores. Igual que Hipócrates, creía que los cuatro humores (sangre, bilis amarilla, bilis negra y flema) eran fríos o calientes, secos o húmedos, de una forma concreta. Para tratar una enfermedad, había que elegir el remedio «opuesto», pero de la misma intensidad. De este modo, las enfermedades cálidas y húmedas en tercer grado, por ejemplo, debían tratarse con un remedio frío y seco en tercer grado. Tomemos un paciente que sufría un catarro con escalofríos: se le administrarían medicinas que secaran y aumentaran el calor. Al reequilibrar los humores, se restauraba un estado sano «neutral». Todo ello presentaba una gran sencillez y lógica, pero en realidad las cosas eran más complicadas. Los médicos debían conocer a fondo a sus pacientes y administrar sus remedios con mucha cautela. Galeno se lanzaba con prontitud a señalar los errores de los demás médicos (que ocurrían a menudo), para que todo el mundo supiera que sus diagnósticos y terapias eran mejores. Era un médico astuto, muy demandado, y prestaba gran atención tanto a los aspectos mentales como a los físicos de la salud y la enfermedad. En una ocasión diagnosticó un caso de «mal de amores» a una joven asaltada por la debilidad y los nervios cada vez que un atractivo bailarín actuaba en la ciudad.

Galeno fue el primero en implantar la práctica de tomar el pulso a los pacientes, algo que los médicos siguen haciendo, y escribió un tratado sobre cómo el pulso (lento o rápido, intenso o débil, regular o irregular) podía resultar útil para diagnosticar la enfermedad, aunque no tenía ni idea sobre la circulación de la sangre.

Galeno estaba más interesado en la anatomía que los hipocráticos y no dudaba en abrir cuerpos de animales muertos y examinar esqueletos humanos siempre que podía. La disección de cuerpos humanos no estaba bien vista en las sociedades de la Antigüedad, de modo que Galeno no podía realizarla, aunque creemos que a algunos médicos podría habérseles permitido examinar los cuerpos de criminales condenados mientras estaban aún con vida. Lo que Galeno sabía sobre la anatomía humana lo aprendió de la disección de animales, como cerdos y monos, y por afortunadas coincidencias: el descubrimiento de un cuerpo en estado de putrefacción o heridas de importancia que dejaban al descubierto la estructura de la piel, el músculo y el hueso. Los científicos siguen utilizando animales para sus investigaciones, pero deben ser cuidadosos a la hora de dejar claro de dónde han obtenido su información. Galeno olvidaba a menudo mencionar de dónde había obtenido sus datos, así que podía resultar confuso.

Para Galeno, la anatomía era una materia importante por derecho propio, aunque también resultaba fundamental para entender las funciones de los órganos del cuerpo. Uno de sus tratados más influyentes, *Sobre el uso de las partes*, analizaba la estructura de las «partes» u órganos y qué papel jugaban en el funcionamiento del cuerpo humano. Galeno creía, como haría cualquiera, que cada una tenía su función, de

otro modo no estarían allí. (Tengo dudas sobre si alguna vez vio un apéndice humano. Es probable que esta pequeña parte de nuestro sistema digestivo sirviera hace mucho, mucho tiempo para ayudar a la digestión de plantas, pero en la actualidad ha perdido su función.)

En el centro de todas las funciones corporales se hallaba una sustancia que los griegos denominaban *pneuma*. Se trata de una palabra de difícil traducción: a veces se usa *espíritu*, pero también incluye la idea de «aire», y ha dado pie a diversos términos médicos actuales, como *neumonía*. Según Galeno, el cuerpo contenía tres tipos de pneuma, y comprender la función de cada uno era fundamental para entender las funciones corporales. El tipo más básico de pneuma se asociaba con el hígado y se ocupaba de la nutrición. Según creía Galeno, el hígado absorbía material del estómago después de que éste hubiera sido ingerido y digerido, lo convertía en sangre y luego le infundía un espíritu «natural». A continuación, esta sangre del hígado fluía a través de las venas por todo el cuerpo para nutrir los músculos y otros órganos.

Parte de esta sangre pasaba desde el hígado, y a través de una gran vena llamada «cava», hasta el corazón, donde se refinaba con otro espíritu, el «vital». El corazón y los pulmones trabajaban juntos en este proceso: parte de la sangre corría a través de la arteria pulmonar (que sale de la parte derecha del corazón) hacia los pulmones, a los que nutría y donde también se mezclaba con el aire que inhalamos. Mientras, parte de la sangre del corazón pasaba de la derecha a la izquierda por la sección central de corazón (el septo). Galeno pensaba que esta sangre era de un rojo intenso porque estaba llena de espíritu vital. (Galeno se dio

cuenta de que la sangre de las arterias es de un color distinto que la de las venas.) Desde el lado izquierdo del corazón, la sangre salía a través de la aorta, la gran arteria por la que la sangre sale del ventrículo izquierdo para calentar el cuerpo. A pesar de detectar la importancia de la sangre en la vida de las personas, Galeno no tenía conciencia de que ésta *circulara*, como descubriría William Harvey casi mil quinientos años después.

En el esquema de Galeno, parte de la sangre del corazón también iba al cerebro, donde se mezclaba con el tercer tipo de pneuma, el espíritu «animal». Éste era el más refinado; proporcionaba al cerebro sus propias funciones específicas y fluía a través de los nervios, lo que nos permitía mover los músculos y experimentar el mundo exterior a través de los sentidos.

El sistema tripartito de espíritus de Galeno, cada uno de ellos asociado a órganos importantes (hígado, corazón, cerebro), estuvo vigente durante más de mil años. Vale la pena recordar que Galeno lo utilizaba sobre todo para explicar cómo funcionan nuestros cuerpos cuando estamos sanos. Al enfrentarse a pacientes enfermos, seguía confiando en el sistema de humores concebido por los hipocráticos.

Galeno escribió también sobre el resto de aspectos de la medicina, como los medicamentos y sus propiedades, las enfermedades de órganos especiales, como los pulmones, la higiene o cómo preservar la salud, así como sobre la relación entre nuestra mente y nuestro cuerpo. Su pensamiento era muy sofisticado; de hecho, creía que un doctor debía ser tanto un filósofo como un investigador, un pensador y un experimentador. Según él, la medicina debía ser por encima de todo una ciencia racional, y prestaba mucha atención a

los mejores métodos para adquirir buenos y fiables conocimientos. Médicos posteriores, que también se veían a sí mismos como hombres de ciencia instruidos, se sintieron atraídos por la mezcla de consejos prácticos (basados en la vasta experiencia de Galeno) y pensamiento profundo de éste. No existe ni un solo médico en toda la historia occidental que haya ejercido una influencia semejante durante tanto tiempo.

Hay varias razones que explican la larga sombra de Galeno. En primer lugar, tenía una buenísima opinión de Aristóteles, así que a menudo se los relacionaba en las conversaciones. Igual que Aristóteles, Galeno era un profundo pensador y un enérgico investigador del mundo. Ambos creían que este mundo había sido diseñado, y alababan al Diseñador. Galeno no era cristiano, pero creía en un Dios único, y a los primeros cristianos les resultó sencillo incluirlo en su redil. La consecuencia de su confianza era que tenía respuesta para todo, y como la mayoría de gente que escribe numerosos libros durante un largo periodo de tiempo, no siempre era coherente, pero sí contundente en sus opiniones. Más adelante fue conocido como «el divino Galeno», un apelativo que le habría enorgullecido.

La ciencia en el islam

Galeno no vivió lo suficiente para asistir al declive del Imperio romano, que en el año 307 quedó dividido en dos. El nuevo emperador, Constantino (280-337), trasladó su trono al este, a Constantinopla, la actual Estambul. Allí estaría más cerca de la zona oriental del imperio, las tierras que hoy llamamos Oriente Próximo. Las enseñanzas y la sabiduría contenida en los manuscritos griegos y romanos, igual que los eruditos capaces de estudiarlos, empezaron a trasladarse hacia el este.

En Oriente Próximo se asistió al nacimiento de una nueva religión, el islam, que seguía las enseñanzas del gran profeta Mahoma (570-632) y que acabaría dominando la mayor parte de Oriente Próximo y el norte de África, hasta llegar incluso a España y el Lejano Oriente, aunque en los dos siglos posteriores a la muerte de Mahoma, la nueva religión quedó en gran parte limitada a la zona de Bagdad y los asentamientos que la rodeaban. Todos los alumnos musulmanes estudiaban el Corán, el texto religioso básico del islam, aunque muchos de ellos estaban también interesados en los numerosos manuscritos que habían

llegado allí tras el ataque a Roma en el año 455. En Bagdad se estableció una «casa de sabiduría», que animaba a los jóvenes ambiciosos a incorporarse al trabajo de traducción y estudio de estos viejos manuscritos.

Muchos de ellos estaban escritos en griego antiguo o latín, pero otros habían sido traducidos a las lenguas de Oriente Próximo. Los trabajos de Aristóteles, Euclides, Galeno y otros pensadores de la Grecia antigua fueron traducidos, lo cual está bien porque algunas de las versiones originales han desaparecido. Sin los estudiantes islámicos, no sabríamos ni la mitad de lo que conocemos sobre nuestros antepasados científicos. Y más aún: fueron sus traducciones las que permitieron la fundación de la ciencia y la filosofía europeas después del 1100.

La ciencia islámica abarcaba el este y el oeste, igual que las tierras musulmanas. Aristóteles y Galeno eran tan admirados allí como en Europa; Aristóteles se introdujo en la filosofía musulmana y Galeno se convirtió en el maestro de la teoría y la práctica médicas. Al mismo tiempo, las ideas indias y chinas se introdujeron en Occidente. El papel, procedente de China, facilitó la producción de manuscritos, aunque aún debían copiarse a mano y los errores eran habituales. De India llegaron los números del 1 al 9, el concepto de 0 y el marcador de posición, todos inventados por los matemáticos indios. Los europeos podían realizar cálculos con los números romanos, como el I, el II y el III, pero resultaba difícil aunque estuvieran acostumbrados a ellos. Es más sencillo multiplicar 4 × 12 que IV × XII, ¿verdad? Al traducir los escritos islámicos al latín, los europeos denominaron a estos números «arábigos», aunque en un sentido estricto deberían haberlos llamado «indo-arábigos».

¡Menuda palabra! De hecho, la palabra *álgebra* proviene del término *al-jabr*, incluida en el título de un libro extensamente traducido de un matemático árabe del siglo IX. En el capítulo 14 desarrollaremos el tema del álgebra.

Los estudiantes islámicos realizaron numerosos descubrimientos y observaciones significativos. Si alguna vez has escalado una montaña, o ido a un país situado muy por encima del nivel del mar, es posible que sepas que allí es más difícil respirar porque el aire es más escaso. Pero ¿hasta dónde tendrías que subir para que resultara imposible respirar? En otras palabras, ¿hasta dónde llega la atmósfera, la franja de aire respirable que rodea el globo terráqueo? En el siglo XI, Ibn Mu'adh dio con un ingenioso método para averiguarlo. Llegó a la conclusión de que el crepúsculo, el momento en el que el sol se ha puesto pero el cielo aún está claro, se produce porque los rayos menguantes del sol se reflejan en el vapor de agua de la parte alta de la atmósfera. (Muchos estudiantes islámicos estaban interesados en esa clase de trucos lumínicos.) Al observar la velocidad a la que el Sol desaparecía del cielo vespertino, calculó que durante el crepúsculo éste se hallaba diecinueve grados por debajo del horizonte. A partir de allí, estableció que la altura de la atmósfera era de ochenta y cuatro kilómetros, no muy alejada de los cien que ahora consideramos correctos. Sencillo, pero impresionante.

Otros eruditos islámicos investigaron el reflejo de la luz en un espejo, o el extraño efecto que producía la luz al atravesar el agua. (Mete un lápiz en un vaso de agua; parece que esté doblado, ¿verdad?) La mayoría de los filósofos griegos había supuesto que el hecho de ver algo se relacionaba con la luz que salía del ojo, rebotaba en el objeto

que se contemplaba y regresaba al ojo. Los científicos islámicos se decantaban más por el punto de vista moderno: el ojo recibe luz de los objetos que ve, y el cerebro la interpreta. De otro modo, como bien señalaron, ¿cómo es que no podemos ver en la oscuridad?

Muchos hombres de Oriente Próximo sí veían en la oscuridad: sus astrónomos contemplaban las estrellas, y sus mapas y cartas de los cielos nocturnos eran mejores que los de los astrónomos occidentales. Seguían pensando que la Tierra era el centro del universo, pero dos astrónomos islámicos, al-Tusi en Persia y Ibn al-Shatuir en Siria, realizaron diagramas y cálculos que fueron de vital importancia para el astrónomo polaco Copérnico, trescientos años después.

La ciencia islámica que tuvo más repercusión en el pensamiento europeo fue la medicina. Hipócrates, Galeno y los demás médicos griegos fueron meticulosamente traducidos y comentados, pero diversos médicos islámicos también se hicieron un nombre por sí mismos. Rhazes (*c.* 854-*c.* 925), como es conocido en Occidente, escribió destacados trabajos sobre materias diversas aparte de la medicina; también nos legó una minuciosa descripción de la viruela, una enfermedad muy temida que a menudo mataba a sus víctimas y dejaba cicatrices en los que sobrevivían. Rhazes distinguió la viruela del sarampión, otra enfermedad que niños y algunos adultos siguen sufriendo. Igual que la viruela, el sarampión produce sarpullidos y fiebre. Por suerte, hoy en día la viruela se ha extinguido como resultado de una campaña internacional para proteger a la gente mediante la vacunación, promovida por la Organización Mundial de la Salud (OMS). El último caso se diagnosticó en

1977; Rhazes se habría sentido complacido.

Avicena (980-1037) fue el médico islámico más influyente. Como muchos otros eminentes sabios musulmanes, abarcó numerosos campos de estudio: no sólo la medicina, sino también la filosofía, las matemáticas y la física. Como científico, desarrolló las consideraciones de Aristóteles sobre la luz y corrigió a Galeno en varios aspectos. Su *Canon de medicina* fue uno de los primeros libros en árabe traducidos al latín, y se usó como libro de texto en las escuelas de Medicina europeas durante casi cuatrocientos años. Hoy en día sigue usándose en algunos países islámicos, lo cual es lamentable, pues a estas alturas por desgracia está desfasado.

Durante más de trescientos años, los trabajos científicos y filosóficos más importantes se llevaron a cabo en el mundo islámico. Mientras Europa dormía, Oriente Próximo (y la España musulmana) bullían de actividad. Los lugares más destacados eran Bagdad, Damasco, El Cairo y Córdoba, ciudades que compartían una característica: gobernantes cultivados que valoraban e incluso financiaban la investigación, y eran tolerantes con los eruditos de todas las religiones. Por consiguiente, tanto cristianos y judíos como musulmanes contribuyeron a este movimiento. No todos los gobernantes islámicos estaban de acuerdo con que el conocimiento se adquiriera a partir de cualquier fuente; algunos sostenían que el Corán contenía todo lo que una persona necesitaba saber. Estas tensiones siguen vigentes hoy en día. La ciencia ha sido siempre más potente en las culturas abiertas a las novedades, puesto que conocer detalles sobre el mundo puede traer algunas sorpresas.

Abandonar la oscuridad

En nuestra imaginación, los científicos siempre tratan de descubrir cosas nuevas y la ciencia está en continuo cambio, pero ¿cómo sería la ciencia si creyéramos que ya se ha descubierto todo? En ese caso, ser un científico destacado sólo implicaría leer acerca de los descubrimientos de otras personas.

En Europa esta concepción retrógrada fue la que preponderó después de la caída del Imperio romano en el año 476. Por entonces, el cristianismo se había establecido como la religión oficial del Imperio (Constantino fue el primer emperador en convertirse) y había un solo libro que fuera importante: la Biblia. San Agustín (354-430), uno de los primeros pensadores cristianos más influyentes, lo expresó de este modo: «La verdad está más en lo que Dios revela que en las conjeturas y los tanteos de los hombres». No había pues lugar para aquellos científicos que «tanteaban» en busca de conocimiento: los antiguos habían descubierto ya todo lo que valía la pena conocer sobre la ciencia y la medicina. Por otro lado, era mucho más importante centrarse en alcanzar el cielo y evitar el infierno. Es probable

que el concepto de «científico» se relacionara tan sólo con estudiar a Aristóteles y Galeno, y durante quinientos años, desde el año 500 hasta el 1000 aproximadamente, incluso eso resultó difícil, puesto que muy pocos textos griegos y latinos del mundo clásico estaban disponibles. Y muy poca gente sabía leer.

Las tribus germánicas que saquearon Roma en 455, sin embargo, aportaron algunas cosas útiles. Una de ellas fue el uso de pantalones en lugar de togas (aunque las mujeres tuvieron que esperar un poco más), así como nuevas semillas de grano, como la cebada y el centeno, y la introducción de la mantequilla como sustituto del aceite de oliva. En ese medio milenio de oscuridad también hubo algunas innovaciones tecnológicas: nuevos métodos de cultivo y de labranza. La construcción de iglesias y catedrales animó a artesanos y arquitectos a experimentar con nuevos estilos y encontrar mejores formas de distribuir el peso de las piedras y la madera. Eso facilitó la construcción de catedrales cada vez más grandes, algunas de las cuales siguen dejándonos sin aliento. Constituyen un recordatorio de que la a veces denominada «edad oscura» tenía algo de luz.

Con la llegada del segundo milenio de la era cristiana, sin embargo, la senda de los descubrimientos repuntó. Santo Tomás de Aquino (*c.* 1225-1274) fue el teólogo medieval más destacado. Admiraba intensamente a Aristóteles y encajó el pensamiento cristiano con su ciencia y su filosofía. Junto con Galeno, Ptolomeo y Euclides, Aristóteles moldeó la mente medieval. Era necesario traducir, editar y comentar sus escritos; en un principio dicha actividad se realizaba en los monasterios, pero poco a poco se trasladó a las

universidades, que aparecieron por primera vez en esta época.

Los griegos habían tenido escuelas: Aristóteles estudió en la Academia de su maestro Platón y a su vez estableció su propia escuela. La Casa de Sabiduría de Bagdad también era un lugar donde la gente se reunía para estudiar y aprender. Pero las nuevas universidades europeas eran distintas, y la mayoría ha sobrevivido hasta nuestros días. Muchas fueron fundadas por la Iglesia, pero el orgullo de la comunidad y el apoyo de los más ricos ayudaron a algunos pueblos y ciudades a abrir sus propias universidades. El papa también autorizó la fundación de varias en el sur de Italia. La Universidad de Bolonia (creada alrededor de 1180) fue la primera en abrir sus puertas, pero al cabo de un siglo ya las había en Padua, Montpellier, París, Colonia, Oxford, Cambridge y Salamanca (fundada en 1218). La palabra *universidad* deriva de un término latino que significa «todo», y se supone que estas instituciones abarcaban todo el conocimiento humano. Por lo general tenían cuatro escuelas o facultades: la de Teología, por supuesto (Tomás de Aquino la llamaba «la reina de las ciencias»), Derecho, Medicina y Humanidades. En un principio, las facultades de Medicina basaban sus estudios en los trabajos de Galeno y Avicena, y sus alumnos también estudiaban Astrología, debido a la extendida creencia de la influencia de las estrellas sobre los hombres, para bien o para mal. Las Matemáticas y la Astronomía, que pueden parecer asignaturas muy científicas, se estudiaban por lo general en la facultad de Humanidades. Los vastos trabajos de Aristóteles se estudiaban en todas las facultades.

Gran parte de los «científicos» de la Edad Media eran o

bien médicos o bien hombres del clero, y la mayoría trabajaba en las nuevas universidades. Las facultades de Medicina otorgaban títulos a sus estudiantes: doctor o licenciado en Medicina, y a su vez los distinguían de los cirujanos, boticarios (farmacéuticos) y otros profesionales médicos que cursaban sus especializaciones de un modo distinto. La educación universitaria no tenía por qué hacer que los médicos se interesaran más en descubrir cosas nuevas (preferían basarse en Galeno, Avicena e Hipócrates), pero más o menos desde 1300 los profesores de Anatomía empezaron a diseccionar cuerpos para mostrar los órganos internos a sus alumnos, al tiempo que se practicaban autopsias a los miembros de la familia real o a las personas cuya muerte resultaba sospechosa (o ambas cosas a la vez). Ninguno de estos cambios tenía como consecuencia aumentar la habilidad de los médicos para tratar las enfermedades, sobre todo aquellas que se extendían por la comunidad.

Lo que ahora llamamos la Muerte Negra fue una epidemia de peste que se introdujo por primera vez en Europa en la década de 1340. Lo más probable es que proviniera de Asia a través de las rutas comerciales, y mató a casi un tercio de la población europea en los tres años que tardó en extenderse. Como si no fuera suficiente, regresó diez años después, y más tarde, con una regularidad deprimente, durante los siguientes cuatrocientos años. Algunas comunidades establecieron hospitales especiales para los afectados por la peste (al igual que las universidades, los hospitales son uno de los legados de la Edad Media), y en algunos lugares se crearon comités de salud. La peste también originó el establecimiento de

cuarentenas en los casos en que se creía que había riesgo de contagio. La palabra *cuarentena* proviene del número cuarenta, que era la cantidad de días que la persona enferma, o de la que se sospechaba que lo estaba, permanecía aislada. Si el individuo se recuperaba en ese periodo de tiempo, o no mostraba signos de haber contraído la enfermedad, podía levantarse la cuarentena. El dramaturgo William Shakespeare nació en Stratford-upon-Avon en el año de la epidemia de peste, 1564, y su carrera se vio interrumpida diversas veces, cuando las epidemias obligaban a los teatros a cerrar. Shakespeare hace decir a Mercucio en *Romeo y Julieta*: «¡Que la peste caiga sobre vuestras casas!», para condenar a las dos casas enfrentadas, y el público debió de entender a qué se refería. La mayoría de los médicos creían que la peste era una enfermedad nueva, o al menos una sobre la que Galeno no había escrito, de modo que tuvieron que enfrentarse a ella sin los consejos de éste. Las curas incluían sangrados y medicamentos que provocaban el vómito o el sudor del paciente, remedios populares para otras enfermedades de la época. Al fin y al cabo, Galeno no lo sabía todo.

Y por lo visto, tampoco Aristóteles. Sus ideas sobre la causa del movimiento de los objetos por el aire las discutieron ampliamente Roger Bacon (*c.* 1214-1294) en la Universidad de Oxford, Jean Buridan (*c.* 1295-*c.* 1358) en la Universidad de París y varios otros. Se lo conocía como el «problema del impulso» y había que buscarle una solución. Un ejemplo sería el del arco y la flecha. La flecha vuela porque tensamos hacia atrás la cuerda del arco y la soltamos de inmediato, lo cual impulsa la flecha por el aire. Hemos aplicado una fuerza y le hemos dado un *momentum* (un

concepto del que hablaremos más adelante). Bacon y Buridan lo llamaban «impulso» y se dieron cuenta de que Aristóteles no tenía una explicación adecuada para el hecho de que cuanto más tensábamos la cuerda del arco, más lejos volaba la flecha. Aristóteles sostenía que las manzanas caían a tierra debido a que ésta era su lugar «natural» de descanso. La flecha también acabará en el suelo en algún momento, aunque Aristóteles había dicho que se desplazaba tan sólo porque había una fuerza tras ella. Entonces, si en el momento en que la flecha abandonaba el arco existía una fuerza, ¿por qué ésta parecía disiparse?

Estos y otros problemas similares hicieron pensar a algunos que Aristóteles no había acertado en todo. Nicolás Oresme (*c.* 1320-1382), un clérigo que trabajó en París, Rouen y otras localidades francesas, retomó el tema del día y la noche, y pensó que tal vez, en lugar de que el Sol girara alrededor de la Tierra, la Tierra rotaba sobre su eje a lo largo del día. Oresme no contradijo la creencia aristotélica de que la Tierra era el centro del universo y que el Sol y los planetas giraban a su alrededor, pero quizá aquél fuera un desplazamiento muy lento (¡tal vez el Sol tardara un año en completarlo!), mientras la Tierra, en el centro del universo, giraba sobre sí misma como una peonza.

Se trataba de ideas novedosas, pero hace setecientos años la gente no siempre creía que las ideas nuevas eran algo bueno. Por el contrario, les gustaban los sistemas claros, sistemáticos y completos. Ésta es una de las razones por las que tantos eruditos escribieron lo que hoy en día llamamos «enciclopedias»: gruesos libros que reunían los trabajos de Aristóteles y otros maestros de la Antigüedad y los sintetizaban en un todo inmenso. El lema de este periodo

podría ser: «Un lugar para cada cosa, y cada cosa en su lugar». Pero en el camino de encontrar ese lugar hubo quienes se dieron cuenta de que seguía habiendo rompecabezas que resolver.

En busca de la piedra filosofal

Si pudieras transformar una lata de Coca-Cola de aluminio en oro, ¿lo harías? Lo más probable es que sí, pero si todo el mundo pudiera hacerlo, no resultaría tan espectacular, puesto que el oro se convertiría en algo común y no tendría mucho valor. El viejo mito griego del rey Midas, al que se le concedió el deseo de que todo lo que tocara se convirtiera en oro, nos recuerda que en realidad no estaba siendo muy listo: ni siquiera podría comerse el desayuno, ¡pues el pan se convertiría en oro en cuanto lo tocara!

El rey Midas no era el único que creía que el oro era especial. Los humanos siempre lo han valorado mucho, en parte por su agradable tacto y color, en parte porque es escaso, y sólo los reyes y otras personas ricas lo poseían. Si uno pudiera descubrir cómo hacer oro a partir de las sustancias más comunes (hierro o cuero, por ejemplo, o incluso plata), su fama y fortuna estarían sellados.

Conseguir oro de este modo era uno de los objetivos de una especie de ciencia primeriza llamada «alquimia». Si le quitamos el «al» a *alquimia* nos queda una palabra muy similar a *química*, y de hecho ambas están relacionadas,

aunque hoy en día no consideramos la alquimia, con sus oscuras conexiones con la magia y las creencias religiosas, una ciencia. En el pasado, sin embargo, se consideraba una actividad del todo respetable. En su tiempo libre, Isaac Newton (capítulo 16) hacía sus pinitos con la alquimia, para lo cual adquirió numerosas balanzas, recipientes de cristal de extrañas formas y otros instrumentos. En otras palabras, montó un laboratorio de química.

Es probable que hayas estado en un laboratorio, o al menos los habrás visto en alguna película o serie; el nombre hace referencia al sitio donde uno «labora» o trabaja. Hace tiempo, allí era donde trabajaban los alquimistas. La historia de la alquimia se remonta a muchos años atrás, hasta el Antiguo Egipto, China y Persia. El propósito de los alquimistas no siempre era transformar los metales menos valiosos (básicos) en oro: también pretendían ejercer el control sobre la naturaleza para poder controlar lo que nos rodea. Sus prácticas a menudo implicaban el uso de la magia: la pronunciación de conjuros o asegurarse de hacer las cosas en un orden determinado. Los alquimistas experimentaban con sustancias para observar qué ocurría al mezclarlas o calentarlas, y les gustaba trabajar con las que tenían reacciones violentas, como el fósforo o el mercurio. Tal vez fuera peligroso, pero imagina la recompensa si uno lograba encontrar la combinación adecuada de ingredientes para obtener la «piedra filosofal». Esta «piedra» (en realidad se trataba de una especie de sustancia química muy especial) transformaría a su vez el plomo o el estaño en oro, o te proporcionaría la vida eterna. Igual que en Harry Potter.

Las aventuras de Harry Potter son divertidas, pero ocurren en el mundo de la imaginación. La clase de poderes

con los que soñaban los verdaderos magos y los alquimistas tampoco están a nuestro alcance en la vida cotidiana, ni siquiera en la vida de los alquimistas, y eso que muchos de ellos eran también estafadores que fingían hacer cosas que en realidad no podían hacer. Pero muchos otros eran trabajadores honestos que vivían en un mundo en el que todo parecía posible. En el curso de sus investigaciones, descubrieron muchas cosas sobre lo que ahora denominamos química: la destilación, por ejemplo, el arte de calentar una mezcla y recoger las sustancias que ésta deja en momentos distintos. Las bebidas alcohólicas de alta graduación, como el coñac y la ginebra, se producen con este método, que concentra el alcohol. Las llamamos «espirituosas», una palabra relacionada con los fantasmas (o espíritus) y que también hace referencia a un estado de ánimo vivaz. Se trata de un término procedente del latino *spiritus*, que significa tanto «aliento» como «espíritu», y en parte constituye también un legado de la alquimia.

En aquella época la mayor parte de la gente creía en la magia (y hay quien sigue haciéndolo), y muchos eruditos famosos del pasado utilizaron sus estudios sobre los secretos de la naturaleza para descubrir las fuerzas mágicas. Hubo un hombre en concreto, uno muy notable y con un nombre muy rimbombante, que creyó tener el poder de cambiar en su totalidad la práctica de la ciencia y la medicina: Teophrastus Philippus Aureolus Bombastus von Hohenheim. Si intentas pronunciar el nombre tal vez entiendas por qué se lo cambió por el que ha llegado a nuestros días: Paracelso.

Paracelso (*c.* 1493-1541) nació en Einsiedeln, una pequeña localidad de las montañas suizas. Su padre era

médico y le instruyó en la naturaleza, la minería, los minerales, la botánica y la medicina. Fue criado como católico romano, pero creció en la época de Martín Lutero y la Reforma protestante, de modo que tenía tantos seguidores y amigos protestantes como católicos. También se ganó muchos enemigos. Estudió con diversos clérigos de renombre, y aunque siempre profesó una profunda fe, ésta, como todo lo demás en él, era única: se basaba en la química.

Paracelso estudió Medicina en Italia y a lo largo de toda su vida fue una persona muy inquieta que se trasladó de un sitio a otro. Viajó por toda Europa, tal vez fuera a Inglaterra y sin duda estuvo en el norte de África. Trabajó como cirujano y médico de cabecera, trató a numerosos pacientes ricos y poderosos y, por lo que se sabe, tuvo una carrera exitosa. Sin embargo, nada en su aspecto delataba que tuviera dinero e iba siempre pobremente vestido. Le gustaba beber en bares con la gente común más que con la de clase alta, y sus enemigos aseguraban que era alcohólico.

Paracelso tuvo un solo un trabajo formal, en la Universidad de Basilea de su país natal, Suiza. Insistía en dar las clases en alemán en lugar de en latín, como hacía el resto de profesores, y una de las primeras cosas que hizo fue quemar los libros de Galeno en el mercado. No necesitaba para nada a Galeno, Hipócrates o Aristóteles; lo que él quería era empezar de cero. Estaba seguro de que su concepción del universo era la correcta, y era muy distinta de cualquiera defendida con anterioridad.

Poco después de su fogata, se le obligó a abandonar la ciudad para que continuara con sus vagabundeos por el mundo; se quedaba un tiempo aquí y quizá un año allí, siempre inquieto y preparado para recoger sus pocas

pertenencias e intentarlo en otra parte. Lo más probable es que llevara consigo sus manuscritos y sus aparatos de química, y poco más. Los viajes eran siempre lentos, a pie, a caballo o en carromato, por carreteras que a menudo estaban embarradas y eran peligrosas. Teniendo en cuenta su estilo de vida, resulta sorprendente que consiguiera alguna cosa. De hecho, mientras trataba a sus numerosos pacientes, también escribió muchos libros, observó el mundo que le rodeaba y se pasó la vida haciendo experimentos químicos.

La química era su pasión, y no bromeaba al decir que no necesitaba el trabajo de los sabios antiguos como guía para los suyos. No tenía tiempo para ocuparse de los cuatro elementos (aire, tierra, fuego y agua). En lugar de ello, para él existían tres «principios» básicos: sal, sulfuro y mercurio, en los cuales podía acabar dividiéndose todo. La sal proporciona a las cosas su forma, su solidez; el sulfuro es la causa de que éstas ardan, mientras que el mercurio es el responsable del estado fluido o gaseoso de algunas cosas. Estos tres principios eran los que guiaban sus experimentos en el laboratorio. Le interesaba el proceso por el que los ácidos disolvían las cosas y el alcohol se congelaba. También quemaba sustancias y examinaba con atención los restos. Destiló muchos líquidos y recogió el resultado, al tiempo que anotaba lo que quedaba atrás. No tardó en encerrarse en su laboratorio, en un intento por dominar la naturaleza.

Paracelso creía que sus experimentos químicos le ayudarían a entender el funcionamiento del mundo, y que la química sería la fuente de nuevos tratamientos para las enfermedades. Antes de él, la mayoría de los medicamentos que utilizaban los médicos provenía de las plantas, y aunque el propio Paracelso usaba remedios herbales en su praxis

médica, prefería administrar a sus pacientes medicinas que había estudiado en su laboratorio. El mercurio era su preferida. De hecho se trata de una sustancia muy venenosa, pero él la aplicaba en forma de ungüento sobre las afecciones cutáneas y creía que era la mejor medicina para una enfermedad que se había vuelto muy común en Europa: la sífilis, que por lo general se contagia por vía sexual y que causa terribles erupciones cutáneas, destruye la nariz y por lo general es mortal. Una epidemia de sífilis apareció en Italia en la década de 1490, más o menos en la época del nacimiento de Paracelso, y mató a mucha gente. Para cuando él se convirtió en médico, la sífilis estaba tan extendida que casi todos los doctores habían visto a algún paciente que la padeciera (y más de un doctor también la sufría). Paracelso escribió acerca de esta nueva enfermedad, describió muchos de sus síntomas y recomendó el mercurio para tratarla. Aunque éste podía provocar la caída de los dientes y un terrible mal aliento, conseguía acabar con las erupciones, de modo que los médicos lo utilizaron durante muchos años para tratar la sífilis y otras enfermedades que ocasionaban sarpullidos.

Paracelso describió muchas otras enfermedades. Escribió sobre las heridas y afecciones que contraían aquellos que trabajaban en las minas, sobre todo las relacionadas con los pulmones, causadas por las terribles condiciones de trabajo y las largas horas de actividad. El interés de Paracelso por los mineros reflejaba el talante de su vida, transcurrida entre la gente común.

Hipócrates, Galeno y otros médicos antes que Paracelso creían que la enfermedad era el resultado de un desequilibrio en el interior del cuerpo. Para Paracelso, en

cambio, se trataba del efecto de una fuerza que actuaba desde fuera del cuerpo. Esta «cosa» (a la que él denominó *ens*, el término latino para «ente») ataca el cuerpo, ocasiona que caigamos enfermos y genera la clase de cambios que los doctores analizan en busca de claves para entender de qué enfermedad se trata. El *ens* podía ser tanto un grano como un absceso, o una piedra en el riñón. El logro más notable de Paracelso fue el de separar al paciente de la enfermedad, una forma de pensar que se generalizó mucho después, tras el descubrimiento de los gérmenes.

Paracelso deseaba enfocar la ciencia y la medicina a partir de los nuevos fundamentos que él había establecido. Una y otra vez repetía que la gente no debía leer libros, sino ver y experimentar por sí misma, aunque sin duda quería que leyeran los que él había escrito, algunos de los cuales no se publicaron hasta después de su muerte. En realidad, su mensaje era: «No os molestéis en leer a Galeno, leed a Paracelso». Su mundo estaba lleno de fuerzas mágicas que él creía poder entender y poner al servicio de la ciencia y la medicina. Su sueño alquímico no era sólo convertir los metales comunes en oro, sino que también pretendía dominar todas las fuerzas mágicas y misteriosas de la naturaleza.

Durante su vida tuvo algunos seguidores, y muchos más tras su muerte. Se autodenominaban «los paracélsicos» y continuaron intentando cambiar la medicina y la ciencia como había hecho él. Realizaban experimentos en el laboratorio y utilizaban remedios químicos en su praxis médica. E igual que Paracelso, trataron de controlar las fuerzas de la naturaleza mediante la magia natural.

Los paracélsicos siempre permanecieron fuera de la

corriente establecida, puesto que la mayoría de los médicos no estaban dispuestos a rechazar de plano el legado de los sabios de la Antigüedad. Aun así, el mensaje de Paracelso fue calando cada vez más, y la gente empezó a mirar el mundo con sus propios ojos. En 1543, dos años después de su muerte, se publicaron dos libros, uno de anatomía y otro de astronomía, que también desafiaban la autoridad de los antiguos. La visión del universo se estaba transformando.

El descubrimiento del cuerpo humano

Si quieres entender de verdad cómo está hecho algo, la mejor opción suele ser desmontarlo pieza a pieza. Con algunos objetos, como los relojes o los coches, también resulta de gran ayuda saber cómo montarlos de nuevo. Si lo que tratas de entender es un cuerpo humano o animal, éste debe estar muerto antes de empezar, pero el objetivo es el mismo.

Galeno, como ya sabemos, diseccionó numerosos animales, puesto que no podía hacerlo con seres humanos. Daba por hecho que la anatomía de los cerdos o los monos era muy parecida a la de los humanos, y en ciertos aspectos tenía razón, aunque también existen diferencias. La disección de cuerpos humanos empezó a practicarse de forma ocasional más o menos en 1300, cuando las escuelas de Medicina incluyeron los estudios de Anatomía. Al principio, cuando se detectaban diferencias entre lo que veían en el cuerpo humano y lo que había dicho Galeno, presumían que los seres humanos habían cambiado, ¡y no que Galeno se hubiera equivocado! Pero a medida que empezaron a analizar con más detalle, los anatomistas

encontraron más y más diferencias, y resultó evidente que había mucho más que descubrir sobre el cuerpo humano.

El hombre que realizó el descubrimiento fue un anatomista y cirujano al que conocemos como Andrés Vesalio (1514-1564). Su nombre completo era Andreas Wytinck van Wesel, nacido en Bruselas e hijo de un médico al servicio del emperador alemán Carlos V. Como era un niño inteligente lo enviaron a la Universidad de Lovaina a estudiar Humanidades, pero él decidió pasarse a Medicina. Empujado por su inequívoca ambición, decidió ir a París, donde estaban algunos de los mejores profesores de la materia. Todos eran seguidores de Galeno, y a lo largo de los tres años que Andreas pasó allí los dejó impresionados, además de mostrar sus habilidades en griego y latín y su fascinación por la disección. La guerra entre el Imperio germánico y Francia le obligó a abandonar París, pero reintrodujo la disección humana en la facultad de Medicina de Lovaina antes de viajar, en 1357, a la mejor escuela de Medicina de la época, en la Universidad de Padua. Allí aprobó sus exámenes con las más altas calificaciones y al día siguiente fue designado profesor de Cirugía y Anatomía. En Padua sabían cuándo tenían un prodigio entre manos: Vesalio enseñó Anatomía a través de sus propias disecciones, los estudiantes le adoraban y al año siguiente publicó una serie de bellas ilustraciones anatómicas de las distintas partes del cuerpo humano. Eran tan buenas que médicos de toda Europa empezaron a copiarlas para su propio uso, con gran disgusto de Vesalio, que consideraba que estaban copiando su trabajo.

Abrir en canal un cuerpo humano no es una tarea especialmente agradable. Tras la muerte, el cuerpo empieza

a descomponerse y a desprender olor a putrefacción, y en la época de Vesalio no había métodos para detener este proceso. Eso significaba que la disección debía llevarse a cabo con rapidez, de modo que pudiera completarse antes de que los olores resultaran abrumadores. Lo primero que se afrontaba era el estómago, puesto que lo primero en descomponerse son los intestinos, seguidos por la cabeza y el cerebro, el corazón, los pulmones y otros órganos de la cavidad torácica. Los brazos y las piernas se reservaban para el final, ya que eran lo que mejor se conservaba. Todo el proceso debía realizarse en dos o tres días, y por lo general las clases de Anatomía se daban en invierno, cuando el frío posponía la descomposición y proporcionaba un poco más de tiempo a los doctores.

En el siglo XVIII se descubrieron métodos para preservar los cuerpos, lo que permitió que se alargara el proceso de disección y se examinara todo el cuerpo. En mi época de estudiante de Medicina, tardé ocho meses en diseccionar un cuerpo, y mi ropa y mis uñas no olían a putrefacción sino a productos químicos conservantes. Durante esos meses trabajé con el cuerpo de un anciano y acabé muy familiarizado con él. El orden en que realizábamos el análisis era muy parecido al de la época de Vesalio, con la excepción de que nosotros dejábamos el cerebro para el final, puesto que era un órgano muy complicado y se suponía que en ese momento habríamos aprendido a cortar con cuidado y exponer las diversas partes del cuerpo. El anciano había donado su cuerpo a la ciencia, y sin duda aprendí mucho de él.

A pesar de la necesidad de ir rápido, y de los olores a los que tenía que enfrentarse, la disección era la gran pasión de

Vesalio. No sabemos con certeza cuántos cuerpos abrió con meticulosidad, pero debieron de ser muchos, pues llegó a saber mucho más sobre las partes del cuerpo humano que nadie de su época. Los cinco años y medio transcurridos entre su nombramiento como profesor en Padua y la publicación de su obra magna, en 1543, los pasó muy ocupado. El extensísimo libro de Vesalio, de cuarenta centímetros de grosor y casi dos kilos de peso, no es exactamente una edición de bolsillo que uno pueda meterse en la chaqueta y leer en vacaciones. Se titulaba *De humani corporis fabrica* (Sobre la estructura del cuerpo humano) y hoy en día sigue siendo conocido con el nombre de *Fabrica*. Estaba bella e intrincadamente ilustrado. Vesalio viajó a Basilea, en Suiza, para supervisar la impresión del texto y la realización de las ilustraciones.

El mundo en el que vivimos nosotros está lleno de ilustraciones. Las cámaras digitales facilitan la posibilidad de mandar fotos a nuestros amigos, y las revistas y los periódicos tienen imágenes en todas sus páginas. En la época de Vesalio no era así. Hacía menos de cien años que se había inventado la imprenta y las ilustraciones debían realizarse mediante bloques de madera tallados con mucho esmero a partir de un dibujo que servía de modelo. Igual que en los sellos de goma, la tinta se aplicaba sobre estos bloques y luego se presionaban sobre un papel.

Las imágenes del libro de Vesalio son asombrosas: nunca antes se había representado el cuerpo humano con tanta precisión ni con tanto detalle. Ya en la primera página tomamos conciencia de que algo importante está ocurriendo: en ella se muestra la disección de una mujer en público, con cientos de personas alrededor. Vesalio se yergue en el centro

de la multitud, junto al cuerpo de la mujer, y es la única persona que mira directamente al lector. El resto de la audiencia o bien se halla fascinada por la disección o bien cotillea. A la izquierda de la imagen hay un mono y a la derecha, un perro, recordatorios de que Galeno había tenido que utilizar animales para su trabajo anatómico. En su libro, Vesalio habla de la anatomía humana a partir de cuerpos humanos que él mismo ha diseccionado. Se trata de una gran osadía para un joven que aún no había cumplido los treinta años.

Pero a Vesalio le sobraban razones para confiar en sí mismo. Sabía que había visto el cuerpo humano más a fondo que nadie antes que él. Entre las magníficas ilustraciones de su libro se encuentran las que muestran los músculos delanteros y traseros del cuerpo, con los más superficiales diseccionados para dejar expuestos los internos. Los «hombres de los músculos» están colocados sobre paisajes, y los edificios, árboles, rocas y montañas se incorporan a las imágenes. Uno de ellos aparece colgado por el cuello, para recordar que a menudo Vesalio utilizaba criminales para sus disecciones. De hecho, en una ocasión encontró a uno que había sido colgado y cuyo cuerpo había sido devorado por los pájaros, que sólo dejaron el esqueleto. Vesalio se llevó los huesos a escondidas a su habitación uno por uno, para poder estudiarlos en privado.

Vesalio tenía un artista muy dotado que trabajaba con él, aunque no sabemos su nombre con seguridad. Durante este periodo, que conocemos como Renacimiento, la ciencia estaba muy relacionada con el arte. Numerosos artistas (Leonardo da Vinci, 1452-1519; Miguel Ángel, 1475-1564, y otros) diseccionaban cuerpos para aprender a pintarlos

mejor. Los médicos no eran los únicos que deseaban conocer la estructura del cuerpo humano.

Vesalio estaba fascinado por la estructura (anatomía) del cuerpo, pero los cadáveres no llevan a cabo ninguna función (fisiología), como la respiración, la digestión y el movimiento, como hace un cuerpo vivo. Así que la extensa parte escrita del libro de Vesalio es una mezcla de ideas viejas y nuevas. A menudo señala cómo Galeno había descrito de forma errónea algún órgano o músculo, y lo corrige. Por ejemplo, al describir el hígado, Galeno hace referencia al hígado del cerdo, que tiene cinco lóbulos o partes distintas. El hígado humano tiene cuatro, y no están definidas con tanta nitidez. Varios de los músculos de las manos y los pies humanos son distintos incluso de la especie más cercana a nosotros: los monos y los simios. La teoría de Galeno sobre la circulación de la sangre implicaba que una pequeña parte de ésta se desplazaba de la parte derecha del corazón a la izquierda; según él, lo hacía filtrándose a través de unos poros diminutos existentes en la pared que separaba las dos grandes cámaras (ventrículos) de dicho órgano. Pero Vesalio diseccionó muchos corazones humanos y no halló rastro de estos poros. Su aportación resultaría decisiva unas décadas más tarde, cuando William Harvey empezó a pensar de forma más exhaustiva acerca de lo que hacían la sangre y el corazón, aunque las disquisiciones de Vesalio sobre el funcionamiento del cuerpo humano seguían utilizando ideas de Galeno. Tal vez ésa sea la razón de que sus dibujos se valoren mucho más que sus textos; los primeros no tardaron en copiarse y utilizarse por toda Europa, y le dieron una gran fama (si bien no le proporcionaron demasiado dinero).

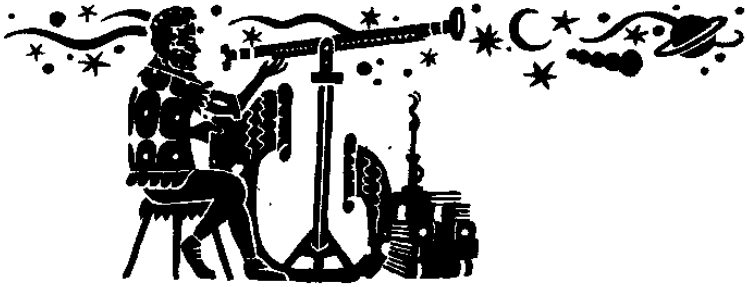
Aunque vivió veinte años más, la publicación de su obra

magna constituyó el punto álgido de su carrera. A pesar de publicar una segunda edición corregida, tras la aparición de la primera se dedicó a practicar la medicina en la corte, donde pasaba el tiempo ocupándose de los ricos y poderosos. Tal vez pensara que había dicho ya todo lo que tenía que decir.

Sin duda había dicho y hecho bastante para ser recordado. *Fabrica* continúa siendo uno de los grandes libros de todos los tiempos, una combinación de arte, anatomía y edición que aún es admirada hoy en día. Con ella, Vesalio nos legó dos regalos eternos. Primero, animó a otros médicos a proseguir sus minuciosas descripciones de la estructura del cuerpo humano. Más adelante, los anatomistas descubrieron partes del cuerpo que Vesalio había omitido, o corrigieron errores que éste había cometido. La combinación de una presentación artística y una meticulosa disección estimuló a otros a producir libros ilustrados del cuerpo. El libro de Vesalio fue el primero en el que las imágenes eran más importantes que el texto, aunque éste no fuera irrelevante. Era necesario explicar a los médicos lo que tenían ante los ojos, y para ello las ilustraciones eran imprescindibles.

En segundo lugar, Vesalio se enfrentó a Galeno. No le trató con desprecio como había hecho Paracelso, pero demostró que era posible saber más que él y que el conocimiento puede aumentar de generación en generación. Con su ayuda, se abrió un debate que se alargó durante más de un siglo. La cuestión era sencilla: ¿es posible saber más que los antiguos? En los mil años previos a Vesalio, la respuesta había sido no; tras él, ésta empezó a cambiar de forma gradual y la gente pensó: «Si todo lo que vale la pena

conocer ya ha sido descubierto, ¿qué sentido tiene tomarse alguna molestia? Pero si me dedico a mirar por mí mismo, tal vez pueda ver algo que nadie más ha visto». Vesalio animó a médicos y científicos a tomarse la molestia.



¿Dónde está el centro del universo?

Cada mañana, el Sol sale por el este y, cada noche, se pone por el oeste. A lo largo del día vemos cómo se desplaza lentamente por el cielo, nuestras sombras se alargan o se acortan, y nos quedan delante o detrás según dónde se encuentre el astro. Si sales al exterior al mediodía, descubrirás que tu sombra queda agazapada debajo de ti. Nada podría ser más obvio, y puesto que ocurre cada día, si hoy te lo pierdes mañana podrás disfrutar del mismo espectáculo.

Por supuesto, el Sol no rodea la Tierra cada día, aunque quizá no te cueste imaginar lo difícil que debía resultar convencer a la gente de que lo que parecía tan obvio no era lo que en realidad sucedía. Pongámoslo así: la Tierra es el centro de *nuestro* universo, puesto que es aquí donde nos ubicamos al mirar el Sol, la Luna y las estrellas. Es nuestro centro, pero no es *el* centro.

Todos los astrónomos de la Antigüedad habían colocado la Tierra en el centro del sistema. ¿Recuerdas a Aristóteles? Después de él, el astrónomo griego más relevante, Ptolomeo, añadió la meticulosa anotación de la posición de las estrellas

noche tras noche, estación tras estación, año tras año. Contemplar las estrellas en una noche clara es una experiencia mágica, y resulta muy divertido identificar los grupos o constelaciones. La de Orión y la Osa Mayor son fáciles de localizar cuando no hay nubes, y a partir de la Osa Mayor es posible encontrar la Estrella Polar, lo cual ayudaba a los marinos a navegar durante la noche en la dirección correcta.

El modelo de universo en el que la Tierra está en el centro y los cuerpos celestes se mueven a su alrededor en círculos perfectos presenta algunos problemas. Las estrellas, por ejemplo, cambian de posición de forma sólo gradual a medida que avanza la noche. El equinoccio de primavera (cuando el Sol está justo sobre el ecuador, lo que hace que el día y la noche tengan la misma duración) ha sido siempre importante para los astrónomos y, de hecho, para todo el mundo. Tiene lugar el 20 o el 21 de marzo, y el 21 es el primer día oficial de la primavera. El problema es que las estrellas están en una posición ligeramente distinta cada primer día de primavera, un lugar en el que no estarían si se movieran en círculos perfectos alrededor de la Tierra. Los astrónomos llamaban a este fenómeno «la precesión del equinoccio» y debían realizar complicados cálculos para explicarlo.

El movimiento de los planetas también era un rompecabezas. Cuando uno observa el cielo nocturno a simple vista, los planetas parecen estrellas brillantes. Los antiguos astrónomos creían que había siete planetas: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, además de la Luna y el Sol, a los que también consideraban planetas. Sin duda, estaban más próximos a la Tierra que a lo que ellos

llamaban las «estrellas fijas», y que nosotros conocemos como Vía Láctea. La observación de los planetas generaba más problemas que la de las estrellas fijas, puesto que aquéllos no se movían como si circunvalaran la Tierra. Por alguna razón su movimiento no parecía constante y a veces daban la sensación de retroceder. Para solucionar este problema, los astrónomos afirmaban que el punto alrededor del cual se movían no era justo el centro de la Tierra, sino el «ecuante». Éste, junto con otros cálculos, les ayudaba a explicar lo que veían en el cielo nocturno sin tener que renunciar al modelo completo, y de este modo podían seguir presuponiendo que la Tierra era el centro del sistema y que los demás cuerpos celestes giraban a su alrededor.

¿Qué ocurriría si en lugar de colocar la Tierra en el centro pusiéramos allí el Sol, y supusiéramos que los otros planetas (incluida la Tierra) giraban a su alrededor? Estamos tan acostumbrados a esta perspectiva que es difícil percibir el dramático paso que suponía. Iba en contra de lo que vemos cada día, contra las enseñanzas de Aristóteles y (más importante aún) contra las de la Iglesia, puesto que en la Biblia se dice que José pidió a Dios que ordenara al Sol que se mantuviera quieto. Pero colocar el Sol en el centro del sistema fue exactamente lo que hizo un valiente sacerdote polaco llamado Copérnico.

Nicolás Copérnico (1473-1543) nació y murió en Polonia, pero estudió Derecho y Medicina en Italia. Su padre murió cuando él tenía diez años, y su tío materno se hizo cargo de la educación del inteligente joven en la Universidad de Cracovia. Cuando su tío fue nombrado obispo de Frombork, también en Polonia, Copérnico consiguió un trabajo en la catedral, lo que le permitió unos ingresos regulares, estudiar

en Italia y, a su regreso, continuar con su pasión: analizar el cielo. Construyó una torre sin tejado, donde podía utilizar sus instrumentos astronómicos. Puesto que aún no existían los telescopios, éstos sólo le permitían medir los ángulos existentes entre diversos cuerpos celestes y el horizonte, y las fases de la Luna. También le interesaban enormemente los eclipses, que tienen lugar cuando el Sol, la Luna o algún planeta se interponen en la órbita de otro y éste queda oculto a nuestra vista de forma total o parcial.

No sabemos con exactitud cuándo decidió Copérnico que su modelo del cielo y el sistema solar (como lo denominamos ahora) era más adecuado para explicar las observaciones que se habían realizado durante miles de años. El caso es que en 1514 escribió un breve manuscrito y lo mostró a unos pocos amigos de confianza, sin atreverse a publicarlo. En éste, afirmaba con bastante claridad que «el centro de la Tierra no es el centro del universo» y que nosotros «giramos alrededor del Sol como cualquier otro planeta». Se trataba de conclusiones bastante definitivas y, a lo largo de las siguientes tres décadas, trabajó en silencio en su teoría de que el Sol, y no la Tierra, era el centro del universo. Aunque dedicó muchas horas a observar el cielo, sus mejores momentos los pasaba reflexionando sobre lo que habían visto otros astrónomos, y sobre cómo podían minimizarse las dificultades si se colocaba el Sol en el centro y se asumía que los planetas giraban a su alrededor. Otros muchos interrogantes, como los eclipses o el extraño movimiento hacia delante y hacia atrás de los planetas, encontraban así su respuesta. Por otro lado, el Sol tiene un papel tan importante en la vida humana (nos proporciona luz y calor), que colocarlo en el centro era un modo de

reconocer que, sin él, la vida en la Tierra sería imposible.

El modelo copernicano tenía otra consecuencia muy significativa: implicaba que las estrellas se hallaban mucho más lejos de la Tierra de lo que habían supuesto Aristóteles y otros pensadores previos. Aristóteles creía que el tiempo era infinito pero el espacio, limitado. Las enseñanzas de la Iglesia afirmaban que el tiempo era inamovible (había empezado unos miles de años atrás, cuando Dios lo creó todo) y el espacio también, con la excepción quizá del propio cielo. Copérnico aceptaba las ideas de la Iglesia acerca del tiempo y la Creación, pero sus mediciones le indicaban que la Tierra se encontraba mucho más cerca del Sol que éste del resto de estrellas. También calculó la distancia aproximada entre el Sol y los planetas, y de la Tierra a la Luna, y concluyó que el universo era mucho mayor de lo que la gente había creído.

Copérnico sabía que sus averiguaciones sorprenderían a la gente pero, a medida que se hacía mayor, decidió publicar sus ideas. En 1542 terminó su obra magna, *De revolutionibus orbium coelestium* (Sobre las revoluciones de las esferas celestes), pero para entonces era ya un hombre mayor y enfermo, así que confió la impresión a su amigo, otro sacerdote llamado Rheticus, que conocía sus ideas. Rheticus empezó el trabajo, pero se vio obligado a marchar a Alemania para trabajar en la universidad y se lo confió a otro sacerdote, Andreas Osiander. Éste creía que las ideas de Copérnico eran peligrosas, así que añadió su propia introducción a este gran libro, que se imprimió finalmente en 1543. En ella afirmaba que las teorías de Copérnico no eran ciertas, sino tan sólo una posible forma de solucionar algunas de las dificultades que los astrónomos hacía tiempo

que habían reconocido con respecto a su idea de que la Tierra era el centro del universo. Osiander tenía derecho a mantener su propia opinión, pero cometió un acto muy deshonesto: escribió el prefacio como si fuera obra del mismo Copérnico. Puesto que no estaba firmado, todo el mundo dio por hecho que se trataba de lo que Copérnico pensaba de sus propias ideas, y para entonces éste estaba muy cerca de la muerte y era incapaz de hacer nada para corregir la falsa impresión que daba el prefacio. En consecuencia, durante casi cien años los lectores de este maravilloso libro asumieron que Copérnico se limitaba a fantasear con formas de explicar lo que veía en el cielo cada noche, pero no afirmaba en realidad que la Tierra girara alrededor del Sol.

Este prefacio favoreció que se ignorara el revolucionario mensaje contenido en la obra de Copérnico. Aun así, mucha gente la leyó, y sus comentarios y cálculos influyeron en la astronomía durante las décadas posteriores a su muerte. Dos astrónomos en particular retomaron su obra allí donde él la había dejado. Uno de ellos, Tycho Brahe (1546-1601), se inspiró en la insistencia de Copérnico de que el universo debía ser muy grande, teniendo en cuenta lo alejadas que estaban las estrellas. La contemplación de un eclipse de Sol en 1560 disparó su imaginación, y aunque su noble familia danesa quería que estudiara Derecho, la única cosa en la que él encontraba satisfacción era en la observación del cielo. En 1572 descubrió una nueva estrella muy brillante en el firmamento nocturno y escribió sobre esta *nova stella*, argumentando que demostraba que los cielos no eran perfectos e inmutables. Se construyó un complejo observatorio en una isla cerca de la costa de Dinamarca y lo

equipó con los accesorios más avanzadas. (Qué lástima que aún no se hubiera inventado el telescopio.) En 1557 siguió el curso de un cometa; por lo general se consideraban malos augurios, pero para Tycho, el curso del cometa sólo significaba que los cuerpos celestes no permanecían inmóviles en sus propias esferas, puesto que el cometa las atravesaba.

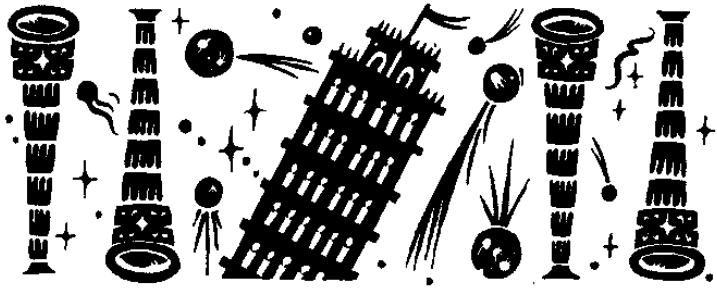
Tycho realizó importantes descubrimientos sobre la posición y el movimiento de estrellas y planetas, aunque al final tuvo que cerrar su observatorio y trasladarse a Praga, donde estableció un nuevo observatorio astronómico. Tres años después, Johannes Kepler (1571-1630) se convirtió en su ayudante. Aunque Tycho nunca había aceptado la idea copernicana de que el Sol se hallaba en el centro de las cosas, Kepler tenía una perspectiva distinta sobre el universo. Tras la muerte de Tycho en 1601, éste le dejó todas sus notas y manuscritos, y aunque Kepler se debía a la memoria de su maestro y editó parte de sus trabajos para que se publicaran, también enfocó la astronomía en una dirección completamente nueva.

Kepler tenía una vida caótica y turbulenta. Su mujer y su hija pequeña habían muerto, y su madre fue a juicio por brujería. Él mismo era un protestante devotamente religioso en los inicios de la Reforma, cuando la mayoría de las autoridades eran católicas, así que tenía que andarse con cuidado. Asimismo, creía que el ordenamiento de los cielos confirmaba sus apreciaciones místicas. Por todo ello, su perdurable contribución a la astronomía fue muy pragmática y precisa. En sus escritos, a menudo difíciles de entender, elaboró tres conceptos que aún hoy son conocidos como las leyes de Kepler y que resultaron de relevante importancia.

Sus dos primeras leyes estaban íntimamente relacionadas, y su descubrimiento se debió a la meticulosa observación de los movimientos del planeta Marte que Tycho le había legado. Kepler la estudió durante mucho tiempo antes de darse cuenta de que los planetas no siempre se mueven a la misma velocidad; en realidad se mueven más rápido cuando se hallan cerca del Sol y más lentamente cuando se hallan lejos. Descubrió que si se dibuja una línea recta entre el Sol (en el centro del universo) y el planeta en cuestión, lo que es constante es la curva del arco producido por el movimiento del planeta, y no la velocidad de éste. Ésta fue su segunda ley, y su consecuencia fue la primera: que los planetas no se mueven en círculos perfectos, sino en elipses, una especie de círculo ovalado. Aunque aún no se había elaborado la teoría de la gravedad, Kepler sabía que existía alguna clase de fuerza que operaba sobre el movimiento de los planetas, y se dio cuenta de que la elipse era la trayectoria natural de algo que se movía alrededor de un punto central, como ocurre con los planetas y el Sol. Las dos leyes de Kepler demostraban que la idea de un movimiento perfectamente circular en el cielo era errónea.

Su tercera ley era más práctica: demostró que existe una relación especial entre el tiempo que tarda un planeta en dar una vuelta completa alrededor del Sol y su distancia media de éste. Eso permitió a los astrónomos calcular la distancia entre los planetas y el Sol, y percibir la enorme dimensión de nuestro sistema solar, aunque pequeña comparada con las enormes distancias existentes entre nosotros y las estrellas. Por suerte, por la misma época se inventó un instrumento científico que nos ayudó a observar mejor esas distancias. El hombre que convirtió el telescopio en una herramienta de

incalculable poder fue el más famoso astrónomo de todos los tiempos: Galileo Galilei.



Torres inclinadas y telescopios

Galileo

Uno de los edificios más extraños del mundo debe de ser el viejo campanario de la catedral de Pisa, de ochocientos cincuenta años de antigüedad, al que es posible que conozcas como la Torre Inclinada de Pisa. Es divertido sacar fotos de un amigo delante de ella, fingiendo que la sujeta para evitar que se caiga. También corren historias sobre cómo la utilizaba Galileo para realizar sus propios experimentos, por ejemplo, dejando caer dos bolas de pesos diferentes desde arriba para ver cuál alcanzaba primero el suelo. De hecho, Galileo no usaba la torre, pero realizó otros experimentos que le mostraron cuál sería el resultado, y descubrió que una bola de cuatro kilos llegaría al suelo al mismo tiempo que una de cuatrocientos gramos. Igual que el hecho de que el Sol no dé vueltas alrededor de la Tierra cada día, este experimento parecía contradecir nuestra experiencia cotidiana. Al fin y al cabo, si dejas caer una pluma y una bola desde lo alto de la torre, no caen a la misma velocidad. ¿Por qué iban a caer las dos bolas de diferentes pesos al mismo tiempo?

Galileo Galilei (1564-1642) nació en Pisa. Su padre era

músico, y de hecho él creció en la cercana Florencia. De joven regresó a la Universidad de Pisa y empezó los estudios de Medicina, aunque siempre le habían interesado más las matemáticas, y abandonó la universidad con la reputación de ser una persona inteligente y aguda. En 1592 se dirigió a Padua para enseñar Matemáticas y lo que nosotros denominamos Física; allí coincidió con un estudiante, William Harvey, a quien conoceremos en breve, y es una lástima que probablemente no se conocieran.

Galileo generó controversia a lo largo de toda su vida. Sus ideas parecían desafiar siempre las opiniones aceptadas, sobre todo la física y la astronomía de Aristóteles y los demás pensadores de la Antigüedad. Era un buen católico, pero también creía que la religión se relacionaba con la moral y la fe, mientras que la ciencia se ocupa del mundo físico y observable. Como él decía, la Biblia te enseña cómo ir al cielo, y no cómo funciona el cielo. Esto le generó conflictos con la Iglesia católica, que se defendía con energía de aquellos que se atrevían a enfrentar tanto sus ideas como su autoridad. La Iglesia también empezó a controlar el creciente número de libros publicados gracias a la imprenta, e incluyó los inaceptables en una lista llamada *Index Librorum Prohibitorum*. Galileo, que tenía numerosos amigos en las altas esferas (incluidos príncipes, obispos, cardenales e incluso papas), gozaba del apoyo de muchos clérigos, pero otros estaban decididos a no permitir que sus ideas pusieran en cuestión sus propias enseñanzas, que tenían siglos de antigüedad.

Los primeros trabajos de Galileo se centraban en las fuerzas implicadas en el movimiento de los objetos. Desde el principio, fue una persona que quiso observar y medir las

cosas por sí mismo y, si era posible, expresar sus resultados de forma matemática. En uno de sus experimentos más conocidos, hizo rodar con cuidado una bola por una superficie inclinada y calculó cuánto tardaba en recorrer ciertas distancias. Como es de esperar, una bola coge velocidad a medida que desciende por una pendiente (diríamos que acelera). Galileo se dio cuenta de que existía una relación específica entre la velocidad de la bola y el tiempo transcurrido desde que había empezado a moverse. La velocidad estaba relacionada con el cuadrado (un valor multiplicado por sí mismo, como 3 × 3) del tiempo transcurrido. Así, Galileo descubrió que al cabo de dos segundos la bola rodaría cuatro veces más rápido. (El cuadrado del tiempo transcurrido también aparece en los trabajos recientes de científicos; puedes buscarlo. Parece que a la naturaleza le gustan las cosas al cuadrado.)

Tanto en éste como en muchos otros experimentos Galileo demostró ser un científico moderno, pues sabía que sus mediciones no eran siempre exactamente iguales; en ocasiones parpadeamos en un mal momento, o nos lleva un tiempo registrar lo que hemos visto, o el equipo no es perfecto. Sin embargo, éste es el tipo de observaciones que podemos realizar sobre el mundo real, y Galileo siempre estuvo más interesado en el mundo tal como lo percibimos que en uno abstracto donde todo fuera siempre perfecto y exacto.

Los primeros trabajos de Galileo sobre objetos en movimiento mostraban hasta qué punto veía el mundo de forma distinta a la de Aristóteles y los cientos de pensadores que habían llegado después, a pesar de la continuada importancia de Aristóteles en las universidades, gobernadas

por grupos religiosos. En 1609 Galileo se enteró de la existencia de un nuevo instrumento que iba a desafiar aún más seriamente el modo de pensar de la Antigüedad. Dicho instrumento pronto recibió el nombre de «telescopio», una palabra que significa «ver a lo lejos» del mismo modo que *teléfono* significa «hablar a lo lejos» y *microscopio* significa «ver lo pequeño». Tanto los telescopios como los microscopios han tenido una importancia capital en la historia de la ciencia.

El primer telescopio que construyó Galileo ofrecía sólo un leve aumento, pero él quedó muy impresionado. No tardó en mejorarlo combinando dos lentes para obtener la clase de aumento que hoy en día esperamos de unos prismáticos: unas quince veces mayor. No parece mucho, pero causó sensación. Con él podían distinguirse barcos que se acercaban por el mar mucho antes de que fueran visibles a simple vista y, más importante aún, Galileo lo enfocó hacia el cielo y se quedó asombrado con lo que descubrió allí.

Al observar la Luna, se dio cuenta de que no era la esfera perfecta, suave y circular que se había supuesto, sino que tenía montañas y cráteres. Al volver el telescopio hacia los planetas, observó sus movimientos más de cerca y descubrió que uno de ellos, Júpiter, tenía «lunas» igual que la Tierra tenía la suya. Otro planeta, Saturno, estaba rodeado por dos grandes masas que no parecían lunas y que hoy en día denominamos «anillos». También pudo distinguir los movimientos de Venus y Marte con mucha más claridad, y convino en que cambiaban de dirección y velocidad a intervalos regulares y predecibles. El Sol tenía zonas negras o manchas, que se movían un poco cada día siguiendo un patrón regular. (Aprendió a mirar el astro indirectamente,

para protegerse los ojos, como debes hacer tú.) Su telescopio reveló que la Vía Láctea, que a simple vista y por la noche se ve como un hermoso borrón desenfocado, de hecho estaba compuesto por miles y miles de estrellas individuales muy alejadas de la Tierra.

Con su telescopio, Galileo realizó estas y otras importantes observaciones y las describió en un libro llamado *Sidereus nuncius* (El mensajero de las estrellas), publicado en 1610 y que generó un gran revuelo. Todas y cada una de las revelaciones ponían en cuestión lo que la gente pensaba acerca del cielo, y hubo quien pensó que las ideas de Galileo eran el resultado de trucos de su nuevo «tubo», como a menudo se llamaba al telescopio, puesto que aquello que no podía verse a simple vista tal vez no existiera. Galileo tuvo que esforzarse en convencer a la gente de que lo que mostraba su telescopio era real.

Mucho más inconveniente, y peligroso, resultaba el hecho de que las observaciones de Galileo pusieran de manifiesto que Copérnico estaba en lo cierto al afirmar que la Luna daba vueltas alrededor de la Tierra y que ésta, la Luna y los otros planetas orbitaban todos alrededor del Sol. En esa época, el libro de Copérnico llevaba setenta años editándose y tenía buen número de seguidores, tanto protestantes como católicos. La posición oficial de la Iglesia católica era que las ideas copernicanas resultaban de utilidad para entender el movimiento de los planetas, pero no eran literalmente ciertas. Si lo fueran, demasiados pasajes de la Biblia quedarían en entredicho y deberían reinterpretarse.

Pero Galileo quería hacer llegar al público sus descubrimientos astronómicos, así que en 1615 se dirigió a Roma con la esperanza de obtener el permiso de la Iglesia

para revelar lo que había descubierto. Mucha gente –incluido el papa– simpatizaba con él, pero por entonces aún estaba prohibido escribir o enseñar el sistema de Copérnico. Galileo no se rindió y regresó a Roma en 1624 y 1630 para tantear el terreno, aunque se estaba haciendo viejo y su salud no era buena, y al final se convenció de que mientras tuviera cuidado de presentar el sistema de Copérnico sólo como una posibilidad, estaría a salvo. Su obra sobre astronomía, *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo*, está escrita en forma de diálogo entre tres personas: Aristóteles, Galileo y su anfitrión. De ese modo, Galileo podía discutir los pros y los contras de las viejas y las nuevas ideas sobre el universo sin tener que dejar claro qué era correcto y qué no.

Se trata de un libro maravilloso, lleno de bromas y escrito, como la mayoría de los trabajos de Galileo, en su lengua materna, el italiano. (Por lo general, los eruditos europeos seguían escribiendo sus libros en latín.) Desde el principio quedaba bastante claro de qué parte estaba Galileo, no en vano el personaje de Aristóteles se llamaba Simplicio, y aunque de hecho uno de los comentaristas de Aristóteles se llamaba así, el nombre y las pocas luces del personaje no dejaban lugar a dudas. El personaje copernicano (llamado Salviati, como referencia a la sabiduría) tiene de lejos las mejores frases y argumentos.

Galileo se esforzó mucho por obtener la aprobación oficial de la Iglesia a su libro. El censor de Roma, que decidía qué libros podían publicarse, entendía el punto de vista de Galileo, pero sabía que podía generar problemas y posponía su decisión; así que Galileo decidió actuar por su cuenta y lo mandó imprimir en Florencia. Cuando las autoridades

eclesiásticas lo leyeron, se disgustaron mucho y convocaron al anciano a Roma, donde alguien desenterró una copia de la vieja orden que le prohibía enseñar el sistema copernicano. En 1633, tras un «juicio» que duró tres meses, Galileo fue obligado a declarar que su libro era un error producto de su vanidad. La Tierra, afirmó en su confesión firmada, no se mueve y es el centro del universo. Corre la leyenda de que justo después de ser condenado, Galileo murmuró: *Eppur si muove* (Y aun así, se mueve). Lo dijera o no en voz alta, sin duda lo pensó, pues la Iglesia no podía forzarle a cambiar sus creencias sobre la naturaleza del mundo.

La Iglesia disponía del poder para meter a Galileo en la cárcel e incluso torturarlo, pero el jurado reconoció que se trataba de un hombre muy poco corriente y decretó para él arresto domiciliario. Su primer «arresto» en la ciudad de Siena no fue muy estricto (era el alma de muchas cenas y fiestas), así que la Iglesia insistió en que regresara a su casa de las afueras de Florencia, donde sus visitas estaban férreamente controladas. Una de las hijas de Galileo (una monja) murió poco después, y sus últimos años transcurrieron en soledad. Aun así, continuó con su trabajo y retomó el problema de los objetos que caen y las fuerzas que provocan la clase de movimientos que vemos a nuestro alrededor cada día. Su obra magna, *Diálogos sobre dos nuevas ciencias* (1638), constituye uno de los fundamentos de la física moderna. Volvió a fijarse en la aceleración de los cuerpos durante su caída y utilizó las matemáticas para mostrar que aquélla podía medirse con un método que anticipaba los famosos trabajos posteriores de Newton sobre la gravedad. También proporcionó una nueva forma de entender el recorrido de los objetos lanzados al aire, como

las balas de cañón, que permitía predecir donde caerían. Con su trabajo, el concepto de «fuerza» (agente capaz de hacer que algo se mueva de una forma concreta) se hizo un sitio en el estudio de la física.

Es posible que hayas oído alguna vez la expresión «rebelde sin causa»; pues bien, Galileo era un rebelde *con* causa. Aquello por lo que luchaba era demostrar que la ciencia era una forma de conocimiento que podía explicar el funcionamiento del mundo en sus propios términos. Algunas de sus desafiantes ideas se abandonaron más adelante por ser erróneas, o porque no explicaban por completo los fenómenos. Pero ésa es la forma en que la ciencia funciona siempre, y ninguno de sus campos es un libro cerrado que contenga todas las respuestas. Galileo lo sabía, igual que deberían saberlo todos los científicos modernos.

Gira y gira

Harvey

Las palabras *ciclo* y *circulación* provienen ambas del término latino original que designaba un círculo. Completar un ciclo, o circular, significa que uno se mueve hasta que al final llega al punto de partida, sin darse necesariamente cuenta. En la naturaleza no existen muchos círculos perfectos, pero sí mucha circulación. La Tierra circunda el Sol. El agua circula evaporándose desde la tierra y cayendo en forma de lluvia. Numerosas especies de pájaros emigran cada año a grandes distancias, para luego regresar a la misma zona a reproducirse y empezar su ciclo anual de nuevo. De hecho, el proceso natural de nacer, crecer y morir, seguido por la repetición del ciclo en la siguiente generación, constituye una especie de circulación.

También dentro de nuestros cuerpos hay numerosos ciclos o circulaciones. Uno de los más importantes es el relacionado con el corazón y la sangre. Cada gota de sangre circula por nuestro cuerpo unas quince veces cada hora de nuestra vida. Eso varía, por supuesto, dependiendo de lo que hagamos: si corremos y nuestro corazón ha de latir más rápido, el tiempo de circulación se acorta; cuando dormimos,

nuestro corazón late más lento y una gota de sangre tarda más en regresar al corazón. Hoy en día aprendemos todo esto en la escuela, pero no siempre estuvo tan claro. El hombre que descubrió que nuestra sangre circula por el cuerpo fue un médico inglés llamado William Harvey (1578-1657).

Su padre era un granjero que se convirtió en comerciante de éxito, una ocupación que también eligieron cinco de los seis hermanos de Harvey. Él, sin embargo, escogió la carrera de Medicina y, tras terminar sus estudios en la Universidad de Cambridge en 1600, fue a la Universidad de Padua, donde unos años atrás había trabajado Vesalio y en ese momento Galileo investigaba en el campo de la astronomía y la física.

Uno de sus profesores de Medicina en Padua fue Fabrizi d'Acquapendente (1537-1619), inscrito en la tradición investigadora iniciada mucho tiempo atrás por Aristóteles y que fue una gran inspiración para Harvey. Maestro y alumno aprendieron dos importantes lecciones de Aristóteles. La primera, que en los seres vivos, entre ellos los humanos, los órganos tienen la forma o la estructura que tienen debido al trabajo que deben realizar. Nuestros huesos y músculos, por ejemplo, están colocados juntos para que podamos correr o coger cosas, y a menos que tengamos alguna anomalía ni siquiera somos conscientes de que están funcionado del modo para el que fueron diseñados. Aristóteles también creía que todo lo que existía en el interior de las plantas y los animales tenía un propósito específico, o función, pues el Creador no habría diseñado nada inútil. Nuestros ojos están hechos para cumplir su función, ver, igual que otras partes de nuestro cuerpo:

estómago, hígado, pulmones y corazón. Cada órgano tiene una estructura específica para poder llevar a cabo su propia función. Este enfoque para la comprensión del funcionamiento de nuestros órganos se denominaba «anatomía viva» y resultaba de especial ayuda para averiguar la «lógica» que subyace bajo el funcionamiento de nuestros cuerpos. Los médicos tenían claro que los huesos eran duros y mantenían su forma porque debían soportar nuestro cuerpo cuando caminamos o corremos. Nuestros músculos son más blandos y elásticos porque su contracción y relajación nos ayuda a movernos. Pero no era tan obvio que el corazón, y su relación con la sangre y los conductos sanguíneos, pudiera entenderse siguiendo la misma lógica. Quizá podríamos decir que hoy en día el corazón encaja en este tipo de razonamiento acerca de las funciones corporales gracias a la guía de Harvey.

En segundo lugar, Aristóteles insistía en el papel central del corazón y la sangre en nuestras vidas, tras observar el minúsculo latido que constituía la primera señal de vida en el diminuto polluelo que crecía en el huevo. Eso convenció a Harvey de que el corazón era el centro de la vida, y de este modo el corazón y la circulación se convirtieron en el centro de la carrera médica de Harvey.

Su propio profesor, Fabrizi, también descubrió algo que resultó crucial para sus estudios: que muchas de las venas más grandes tenían válvulas en su interior. Éstas estaban dispuestas de modo que la sangre sólo pudiera circular en una dirección: hacia el corazón. Fabrizi creía que su función era evitar que la sangre se estancara en nuestras piernas o bajara del cerebro con demasiada fuerza. Al volver a Inglaterra tras completar sus estudios en Padua, Harvey hizo

un buen uso de todas esas lecciones.

Su carrera siguió un curso ascendente. Abrió una consulta en Londres, obtuvo un trabajo en el hospital St. Bartholomew y no tardaron en pedirle que diera clases de Anatomía y Fisiología a los cirujanos. Se convirtió en el médico de dos reyes de Inglaterra, Jacobo I y su hijo Carlos I. Su relación con este último no le benefició, sobre todo después de que fuera expulsado del trono por un grupo de protestantes llamados «puritanos». En una ocasión la casa de Harvey fue atacada e incendiada, y con ella numerosos manuscritos de libros que esperaba publicar. Fue una gran pérdida para la ciencia, puesto que los estudios de Harvey abarcaban muchos campos, tales como la respiración, los músculos y la formación de animales a partir de huevos fecundados. El rey Carlos le había dejado incluso que usara algunos de sus animales reales en sus experimentos.

Harvey siempre se sintió fascinado por la sangre, de la que pensaba que era la parte más esencial de lo que significa estar vivo. También cascó diversos huevos y vio que el primer signo de vida era una mancha de sangre que latía de forma rítmica. Lo mismo ocurría con otros animales que examinó cuando aún eran embriones (en desarrollo en el huevo o en el útero de la madre). El corazón, que siempre se ha asociado con la sangre, también fascinaba a Harvey. Todo el mundo sabía que cuando el corazón dejaba de latir, la persona o el animal morían, así que, mientras que la sangre era esencial para el comienzo de la vida, ésta terminaba cuando el corazón se detenía.

La mayor parte del tiempo nuestro corazón late sin que ni siquiera pensemos en ello, pero en ocasiones sentimos sus latidos, por ejemplo, cuando estamos nerviosos o asustados,

o después de hacer ejercicio: el corazón golpea contra la caja torácica, pum-pum-pum. Harvey deseaba entender los «movimientos» del corazón, es decir, qué ocurría en realidad en cada latido: el corazón se contrae (un proceso conocido como «sístole») y luego se relaja («diástole»). Diseccionó numerosos animales vivos para observar sus corazones palpitantes, sobre todo serpientes y otras especies de sangre fría (aquellas que no pueden regular su temperatura corporal y cuyos corazones laten a una velocidad mucho más lenta que el nuestro, con lo cual es más fácil de observar). Harvey observó cómo se abrían y se cerraban las válvulas internas del corazón con cada latido, en una secuencia regular. Durante la contracción, las válvulas existentes entre las cámaras del corazón se cerraban y las que se conectaban con los vasos sanguíneos se abrían. Con la relajación el proceso se invertía: las válvulas internas se abrían y las que se encontraban entre el corazón y los vasos sanguíneos (la arteria pulmonar y la aorta) se cerraban. Harvey se dio cuenta de que estas válvulas se comportaban igual que las de las venas que había descubierto su maestro Fabrizi, y que su función parecía ser conseguir que la sangre circulara en un sentido constante.

Harvey realizó varios experimentos para mostrar su teoría a otras personas. Uno era muy sencillo: colocó un vendaje ceñido (llamado torniquete) alrededor de un brazo y vio que si estaba muy apretado, de modo que la sangre no pudiera correr por el brazo, la mano se quedaba muy pálida, y si lo aflojaba un poco, la sangre podía entrar en el brazo pero no regresar al corazón, de modo que la mano se ponía roja. Todo ello indicaba que la sangre entraba en el brazo a una presión determinada, que el torniquete bloqueaba por

completo. Al aflojarlo se permitía la circulación de la sangre por las arterias, pero no en el sentido contrario, por las venas.

Tras haber estudiado muchos corazones y reflexionado en profundidad, Harvey dio un importante paso adelante en nuestra comprensión de su funcionamiento. Descubrió que en un breve lapso de tiempo por el corazón pasa más sangre de la que contiene todo nuestro cuerpo. Era imposible fabricar suficiente sangre para que el corazón bombeara sangre nueva con cada latido, y aún menos que un cuerpo humano la contuviera toda. Por lo tanto, la sangre debía salir del corazón con cada latido, viajar por las arterias hasta las venas y regresar al corazón para empezar un nuevo ciclo de «circulación».

«Empecé a pensar que la sangre se movía, por así decirlo, en círculos», escribió (en latín) en 1628, en un libro corto titulado *De motu cordis* (Sobre los movimientos del corazón). Da la sensación de que empezó a escribir sobre la contracción y la relajación del corazón, y terminó por descubrir qué funciones cumplía este proceso. Determinó que la sangre es bombeada hacia los pulmones desde la cámara derecha del corazón, y a la arteria más grande, la aorta, desde la izquierda. Desde la aorta, la sangre llega a las ramificaciones arteriales más pequeñas y luego se transfiere a las venas, donde las válvulas se encargan de que circule en la dirección correcta y regrese al lado izquierdo del corazón a través de la vena cava, la mayor del cuerpo.

Del mismo modo que Vesalio, Harvey siempre insistía en que su deseo era estudiar las estructuras y funciones del cuerpo a partir de sus propias investigaciones, no a través de libros escritos por otros. Pero a diferencia de Vesalio, él

trabajaba sobre todo con animales vivos, no con cadáveres humanos. Su intención no era desafiar dos mil años de enseñanzas médicas sobre la sangre y el corazón, pero sabía que sus descubrimientos generarían controversia porque demostraban que la teoría de Galeno era incorrecta. Tuvo que defender sus ideas de las críticas de algunas personas, en su mayoría seguidores de Galeno, que las consideraban demasiado extremas. Pero en la teoría de Harvey había una laguna importante: era incapaz de responder a la pregunta crucial de cómo pasaba la sangre de las arterias más pequeñas a las venas más pequeñas, para emprender su viaje de vuelta al corazón.

Esa pieza del rompecabezas se resolvió más o menos en la época de su muerte gracias a uno de sus discípulos italianos, Marcello Malpighi (1628-1694), un experto en el uso de un nuevo instrumento, el microscopio, que había aparecido en la década de 1590 pero se mejoró en este periodo. Malpighi pudo observar más de cerca que nadie las delicadas estructuras de los pulmones, los riñones y otros órganos, y de ese modo descubrió los diminutos canales que conectaban las arterias y venas más pequeñas: los capilares. De este modo se completaba el «círculo» de Harvey.

A través de su innovador trabajo, Harvey había mostrado lo que se podía aprender gracias a una meticulosa experimentación, y a medida que sus ideas se aceptaban en círculos más amplios, la gente lo reconoció como el fundador de la experimentación en biología y medicina. Esto animó a otros científicos a emprender investigaciones sobre otras funciones corporales, como la respiración en los pulmones o la digestión de la comida en el estómago. Asimismo, como habían hecho Galeno y Aristóteles, Harvey

ayudó a otra gente a darse cuenta de que el conocimiento científico puede incrementarse, y que podemos saber más sobre la naturaleza que gente igual de inteligente que vivió mil (o incluso cincuenta) años antes que nosotros.

El conocimiento es poder

Bacon y Descartes

En el año transcurrido entre la vida de Copérnico y la de Galileo, la ciencia había puesto el mundo patas arriba. La Tierra ya no se encontraba en el centro del universo y los nuevos hallazgos en astronomía, fisiología, química y física recordaban a la gente que los sabios de la Antigüedad no lo sabían todo, al fin y al cabo. Había un montón de cosas esperando a ser descubiertas.

La gente también empezó a pensar en la ciencia en sí misma. ¿Cuál era el mejor modo de practicarla? ¿Cómo se podía asegurar que los nuevos descubrimientos eran precisos? ¿Y cómo podía usarse la ciencia para aumentar nuestra comodidad, salud y felicidad? Dos hombres en concreto dedicaron mucho tiempo a pensar en ello; uno era un abogado y político inglés; el otro, un filósofo francés.

El inglés era Francis Bacon (1561-1626), cuyo padre, Nicholas Bacon, era un influyente oficial al servicio de Isabel I, a pesar de sus orígenes humildes. Nicholas era consciente de la importancia de la educación, por ello envió a su hijo a la Universidad de Cambridge. Francis también sirvió a Isabel, así como al rey Jacobo I tras la muerte de aquélla. Era

un experto en derecho inglés, tomó parte en varios juicios importantes y, tras ser nombrado lord canciller, se convirtió en uno de los juristas más destacados de su época. Asimismo, era un miembro muy activo del Parlamento.

A Bacon le entusiasmaba la ciencia. Pasaba mucho tiempo realizando experimentos químicos y observando toda clase de curiosidades en la naturaleza, desde plantas y animales hasta el tiempo y el magnetismo. Más importantes que cualquiera de sus hallazgos fueron sus elegantes y persuasivos argumentos sobre la utilidad de la ciencia y el método que debía seguirse para practicarla. Bacon animaba a la gente a valorarla. Una de sus frases más conocidas es: «El conocimiento es poder», y la ciencia es el mejor camino para adquirirlo. Así pues, instó a Isabel y a Jacobo a usar fondos públicos para construir laboratorios y proporcionar a los científicos lugares para realizar su trabajo. Creía que los científicos debían formar sociedades, o academias, para poder reunirse e intercambiar ideas y observaciones. Según él, la ciencia ofrecía a los humanos medios para entender la naturaleza y, a partir de la comprensión, poder controlarla.

Bacon describió con claridad el mejor modo para que la ciencia avanzara. Los científicos debían asegurarse de utilizar palabras precisas y de fácil comprensión. Tenían que enfrentarse a sus investigaciones con la mente abierta, en lugar de intentar demostrar lo que creían saber previamente, y por encima de todo debían repetir sus observaciones y experimentos para estar seguros de los resultados. Es lo que se conoce como el método inductivo. Por ejemplo, si un químico cuenta, pesa o mezcla componentes una y otra vez, puede certificar con seguridad lo que ocurre. A medida que los científicos recogen más y más observaciones, o

inducciones, saben con mayor seguridad lo que ocurrirá. Pueden utilizar las inducciones para crear generalizaciones, que a su vez les revelarán las leyes que gobiernan la naturaleza. Las ideas de Bacon inspiraron a los científicos durante muchas generaciones, y siguen haciéndolo hoy en día.

Aunque de una forma distinta, también lo hicieron las de René Descartes (1596-1650), quien reflexionó a fondo tanto sobre el trabajo de Harvey como sobre el de Galileo. Igual que este último, Descartes era un católico que a pesar de ello creía fervientemente que la religión no debía involucrarse en el estudio de la naturaleza. Igual que Harvey, Descartes examinó cuerpos humanos y animales, y explicó su funcionamiento de un modo que iba mucho más allá de las enseñanzas de Galileo. De hecho, Descartes trató de establecer, de forma más explícita que Galileo o Harvey, unas bases totalmente nuevas para la ciencia y la filosofía. Aunque hoy en día es recordado sobre todo en tanto que filósofo, su dedicación a la ciencia era mucho más activa que la de Bacon.

Descartes nació en La Haye, en la Turena francesa. Era un niño inteligente y acudió a una famosa escuela, La Flèche, en la región del Loira, donde se elaboran excelentes vinos. Allí entró en contacto con los descubrimientos de Galileo con su telescopio, la teoría copernicana de que el Sol se halla en el centro del universo y los últimos avances en matemáticas. Se licenció en Derecho en la Universidad de Poitiers y luego hizo algo muy sorprendente: se alistó como voluntario en un ejército protestante durante nueve años, mientras la guerra de los Treinta Años asolaba Europa. Aunque nunca entró en combate, sus conocimientos

prácticos de matemáticas, que le permitían saber dónde caería una bala de cañón, habrían sido de gran utilidad a los soldados. Durante estos años formó parte de ejércitos tanto protestantes como católicos, y siempre parecía hallarse allí donde tenían lugar importantes sucesos militares o políticos. No sabemos a qué se dedicaba o cómo conseguía dinero para viajar tanto; tal vez fuera un espía. En ese caso, lo sería para los católicos, a los que siempre fue leal.

Al comienzo de su aventura, el 10 de noviembre de 1619, en una habitación caldeada por una estufa, medio dormido, medio despierto, llegó a dos conclusiones. La primera: si alguna vez iba a alcanzar el verdadero conocimiento, tendría que hacerlo por sí mismo. Las enseñanzas de Aristóteles y otros maestros no le servían, así que tenía que empezar de cero. La segunda: el único modo de empezar de cero era ¡dudar de todo! Más tarde, esa misma noche, tuvo tres sueños que interpretó como un estímulo a esta idea. En esa época no publicó nada y, en cualquier caso, sus aventuras militares acababan de empezar. Pero este decisivo día (y noche) le puso en el camino de explicar el universo y todo lo que contenía, así como las reglas que pudieran ayudar a otros a adquirir un conocimiento científico seguro.

Dudar de todo significa no dar nada por supuesto y después, poco a poco, seguir tu intuición y aceptar sólo aquello de lo que estás seguro. Pero ¿de qué podía estar seguro Descartes? En un primer momento, de una sola cosa: que estaba estructurando este proyecto científico y filosófico. Pensaba en cómo obtener cierto conocimiento, pero, en palabras más sencillas, estaba *pensando*. *Cogito, ergo sum*, escribió en latín: «Pienso, luego existo». Existo porque estoy pensando estos pensamientos.

Esta simple afirmación supuso el punto de partida de Descartes. Podríamos decir que todo está bien, vale, pero ¿ahora qué? Para Descartes, había una consecuencia inmediata y de gran alcance: existo porque estoy pensando, pero imagino que podría pensar sin tener un cuerpo. Sin embargo, si tuviera un cuerpo y no pudiera pensar, no lo sabría. Por tanto, mi cuerpo y el ente pensante (mi espíritu, mi alma) deben ser entidades separadas y distintas. Ésta fue la base del dualismo, la noción de que el universo está hecho de dos clases de elementos completamente distintos: la materia (por ejemplo, el cuerpo humano, pero también las sillas, las piedras, los planetas, los perros o los gatos) y el espíritu (la mente o el alma humanas). Y Descartes insistía en que nuestra mente (el medio para saber que existimos) tiene un lugar muy especial en el universo.

Antes y después de Descartes, la gente era consciente de que los seres humanos eran una clase de animales muy especial. Tenemos la capacidad de hacer cosas que no puede hacer ningún otro animal: leer y escribir, dar sentido a las complejidades del mundo, construir aviones y bombas atómicas. El hecho de ser especial no constituía la parte inusual de la teoría de Descartes sobre la separación de nuestro cuerpo y nuestro espíritu, lo sorprendente fue lo que hizo con el resto del mundo, la parte material. El mundo está hecho de materia y espíritu, dijo, y la materia es el objeto de la ciencia. Eso significa que los aspectos materiales, no pensantes, de nuestro funcionamiento pueden explicarse en términos físicos, y también que las plantas y los demás animales, ninguno de los cuales tiene alma, pueden reducirse al concepto de una materia que realiza su trabajo. Junto con los árboles y las flores, los peces y los elefantes no

son más que máquinas más o menos complejas. Según Aristóteles, se trata de cosas que pueden ser entendidas en su totalidad.

Descartes conocía los autómatas, figuras mecanizadas con forma humana fabricadas para moverse y realizar ciertas tareas. Muchos relojes del siglo XVII, por ejemplo, tenían pequeñas figuritas mecánicas, a menudo un hombre que salía al sonar las horas para tocar un gong. Eran la última moda en la época de Descartes, y algunos siguen existiendo en la actualidad. Ya entonces la gente se preguntaba si, puesto que los seres humanos podían fabricar figuras tan delicadas, capaces de moverse e imitar a animales o humanos, existía un mecánico mejor que pudiera ir un paso más allá y crear un perro que comiera y ladrara, además de moverse. Descartes no sentía ninguna inclinación por fabricar esta clase de juguetes, pero en su pensamiento, las plantas y los animales eran tan sólo autómatas extremadamente complejos, sin sentimientos reales y con la capacidad de responder únicamente a lo que sucedía a su alrededor. Estas máquinas eran materia, que los científicos podían entender en términos de principios mecánicos y químicos. Descartes leyó los trabajos de William Harvey sobre las acciones «mecánicas» del corazón y la circulación de la sangre, y creía que ambas proporcionaban pruebas que apoyaban su sistema. (Su propia explicación de lo que ocurre cuando la sangre llega al corazón así como la razón de que ésta circule ha sido olvidada.) Descartes tenía grandes esperanzas de que esas ideas pudieran explicar en gran parte la salud y la enfermedad, y en último término ofrecer a los seres humanos las claves para vivir, si no para siempre, al menos durante mucho tiempo.

Tras haber demostrado de forma satisfactoria que el universo se compone de dos clases diferenciadas de entidades, la materia y el espíritu, Descartes trató de dilucidar cómo se conectaban el espíritu y el cuerpo humanos. Se preguntó cómo era posible, puesto que la materia tiene sustancia y ocupa un espacio, mientras que con el espíritu ocurre todo lo contrario: no se ubica en ninguna parte y no tiene una base material. Desde tiempos de Hipócrates, había sido habitual relacionar nuestra capacidad de pensar con el cerebro. Un golpe en la cabeza podía derribar a una persona, y numerosos médicos habían observado que las heridas y las enfermedades del cerebro conllevaban cambios en nuestras funciones mentales. En un momento dado, Descartes pareció creer que el alma humana estaba localizada en una glándula en el centro de nuestro cerebro, pero sabía que, de acuerdo con la lógica del sistema que había creado, la materia y el espíritu no podían interactuar nunca en un plano físico. Más adelante la gente denominaría este modelo de seres humanos «el fantasma en la máquina», en el sentido de que nuestros cuerpos mecánicos estaban dirigidos de algún modo por un espíritu o alma fantasmagóricos. Pero esta explicación planteaba un problema: cómo era posible que los perros, los chimpancés o los caballos compartieran muchas de nuestras habilidades mentales sin disponer de sus propios «fantasmas». Los gatos y los perros pueden mostrar miedo o enfado, y por lo menos los perros parecen capaces de expresar amor por sus dueños (los gatos son un mundo aparte y van a lo suyo).

La curiosidad de Descartes le llevó a ocuparse de muchos otros temas, algo que no resulta sorprendente en alguien que escribió un libro llamado sencillamente *Le monde*.

Descartes aceptó las ideas copernicanas acerca de la relación entre la Tierra y el Sol, pero tuvo más cuidado que Galileo al presentar sus ideas para no ofender a las autoridades eclesiásticas. También escribió sobre el movimiento, la caída de los objetos y otros problemas que atraían a Galileo. Por desgracia, y a pesar de tener algunos seguidores en su época, las ideas de Descartes sobre el funcionamiento del universo no podían competir con las de gigantes como Galileo o Isaac Newton, y hoy en día muy pocos recuerdan la física de Descartes.

Si bien en el ámbito de la física perdió la partida frente a otros hombres de gran inteligencia, cada vez que resuelves un problema de álgebra o geometría estás siguiendo, lo sepas o no, los pasos de Descartes. Fue él quien tuvo la brillante idea de usar a, b y c en los problemas de álgebra para lo conocido, y la x, y, y z para las incógnitas. Así que cuando te piden que resuelvas una ecuación como $x = a + b^2$, no haces más que perpetuar el sistema que él instauró. Y cuando plasmas algo en un gráfico, con un eje vertical y otro horizontal, también estás usando uno de sus inventos. El mismo Descartes resolvió varios problemas algebraicos y geométricos en diversos libros publicados junto con el que dedicaba al mundo.

Al separar de forma tan definida el cuerpo de la mente, el mundo material y el del espíritu, Descartes puso el acento en la importancia del mundo material para la ciencia. La astronomía, la física y la química se ocupan de la materia, igual que la biología, y si bien su idea de la máquina-animal parece un poco disparatada, los biólogos y los médicos siguen tratando de entender cómo funcionan las plantas y los animales en términos de sus componentes materiales.

Fue una desgracia para Descartes que su idea de que la medicina no tardaría en ofrecerle a la gente la posibilidad de vivir mucho más tiempo llegara un poco antes de tiempo. Él mismo era una persona bastante sana hasta que aceptó una invitación de Suecia para enseñar a la reina su filosofía y su concepción del mundo. Ella se levantaba pronto e insistía en que las lecciones tuvieran lugar a primera hora de la mañana. Descartes odiaba el frío, y no sobrevivió a su primer invierno en Suecia. Cogió una infección y murió en febrero de 1650, siete semanas antes de cumplir cuarenta y cuatro años. Fue un final triste para alguien que creía que viviría cien años.

Bacon y Descartes tenían elevados ideales para la ciencia. Diferían en sus ideas sobre cómo ésta podía avanzar, pero defendían con pasión que debía hacerlo. Bacon veía la ciencia como un proyecto compartido y financiado por el Estado, mientras que Descartes prefería resolver los problemas por sí mismo. Ambos deseaban que otras personas continuaran y desarrollaran sus ideas, y también creían que la ciencia es una actividad especial, superior a la rutina de la vida cotidiana. Esta singularidad era para ellos merecida, pues la ciencia amplia nuestro caudal de conocimiento y nuestra capacidad de entender la naturaleza, de modo que puede mejorar nuestras vidas y el bien común.

La «nueva química»

Si dispones de un kit de química, es probable que ya conozcas el papel tornasol, esas pequeñas tiras de un papel especial que pueden determinar si una solución es ácida o alcalina. Si mezclas vinagre con agua (obteniendo una mezcla ácida) e introduces la tira azul, se volverá roja. Si lo intentas con la lejía (que es alcalina), la tira roja se volverá azul. La próxima vez que uses el papel tornasol, piensa en Robert Boyle, pues fue él quien inventó esta prueba hace más de trescientos años.

Boyle (1627-1697) nació en una extensa familia de la aristocracia irlandesa. Era el hijo menor, y nunca tuvo que preocuparse por el dinero. A diferencia de mucha gente acomodada, Boyle fue siempre generoso con su fortuna y donó gran parte de ella a la caridad. Por ejemplo, financió la traducción de la Biblia a la lengua de los indios americanos. La religión y la ciencia tenían un papel igual de grande e importante en su vida.

Pasó unos cuantos años en Eton, la elitista escuela inglesa, y luego viajó a Europa, donde disfrutó de una serie de tutores privados. Al regresar a Inglaterra, la guerra civil

estaba en su apogeo; parte de su familia apoyaba al rey Carlos I y otra parte a los parlamentarios, que querían destronar al rey y establecer una república. Su hermana le convenció de unirse a estos últimos y, a través de ella, conoció a un entusiasta reformista científico, político y social llamado Samuel Hartlib. Igual que Francis Bacon, Hartlib creía en el poder de la ciencia para mejorar la vida de los seres humanos, y convenció al joven Boyle de que estudiar Agronomía y Medicina era el medio de conseguir esas mejoras. Boyle empezó con la medicina y estudió los medicamentos existentes para curar diversas enfermedades, y con el paso del tiempo acabó convirtiéndose en un apasionado de la química.

Hay personas religiosas que temen exponerse a sí mismos o a sus hijos a ideas novedosas, porque creen que éstas podrían minar su fe. Boyle no era uno de ellos: estaba tan convencido de sus creencias religiosas que leía cualquier cosa relacionada con sus amplios intereses científicos. En su juventud, Descartes y Galileo eran dos figuras controvertidas, pero los estudió con atención (leyó *El mensajero de las estrellas* en 1642 en Florencia, en el mismo año y lugar en el que murió Galileo) y utilizó sus hallazgos para su propio trabajo. Boyle también estaba interesado en los atomistas de la Antigüedad (véase capítulo 3), aunque no le convencía del todo su aseveración de que el universo se componía sólo de «átomos y vacío». Sin embargo, sabía que en el universo había unidades básicas de materia, a las que él denominó «corpúsculos», pero prefería desarrollar su trabajo sin las asociaciones paganas (ateas) del antiguo atomismo griego.

A Boyle tampoco le convencía la teoría aristotélica de los

cuatro elementos –aire, tierra, fuego y agua–, y demostró que no era cierta a través de diversos experimentos. Quemó una rama de madera fresca y demostró que el humo que salía no era aire y que el líquido que rezumaba del extremo de la madera en llamas no era tampoco agua. La llama era distinta según lo que se quemara, de modo que el fuego tampoco era puro, y la ceniza que quedaba no era tierra. El análisis atento de los resultados de estos sencillos experimentos bastó a Boyle para demostrar que algo tan común como la madera no estaba hecho de aire, tierra, fuego y agua. También señaló que algunas sustancias, como el oro, no podían descomponerse. Al calentarlo, el oro se fundía y fluía, pero no cambiaba como la madera al arder: cuando el oro se enfría, retoma su forma original. Boyle reconocía que lo que nos rodea en nuestra vida cotidiana, como las mesas y las sillas de madera, o los vestidos y los gorros de lana, estaba formado por diversos componentes, pero éstos no podían reducirse a los cuatro elementos griegos ni a los tres de Paracelso. Hay quien cree que fue Boyle quien inventó la definición moderna de los elementos químicos. No cabe duda de que se acercó al describir los elementos como cosas que no «están hechas de otros cuerpos, ni unas de otras». Pero no desarrolló más la teoría ni la utilizó en sus propios experimentos químicos.

La noción de corpúsculo como unidad básica de materia, en cambio, servía a la perfección a sus propósitos experimentales. Boyle era un incansable experimentador; se pasaba horas en su laboratorio privado, ya fuera solo o acompañado, y anotaba sus experimentos con gran número de detalles. En parte es esta atención al detalle lo que lo convierte en alguien tan especial en el ámbito científico. Sus

amigos y él querían que la ciencia fuera una materia abierta y pública, y que otros pudieran utilizar sus conocimientos. Ya no bastaba con asegurar haber descubierto el secreto mejor guardado de la naturaleza, como había hecho Paracelso: un científico debía ser capaz de demostrar ese secreto a otra gente, ya fuera en persona o a través de descripciones detalladas.

Esta insistencia en la publicidad era una de las reglas que guiaban los círculos científicos en los que se movía Boyle. El primero fue un grupo informal en Oxford, donde vivió en la década de 1650; cuando la mayoría de éste se trasladó a Londres, se unieron a otros para fundar lo que en 1662 se convirtió en la Royal Society de Londres, una de las sociedades científicas más relevantes aún hoy en día. Todos ellos sabían que estaban haciendo algo que Francis Bacon había pedido medio siglo antes. Boyle era el alma de este club dedicado a aumentar el conocimiento. Desde el principio, sus miembros estaban decididos a que todo aquello que revelaran y discutieran en sus reuniones resultara útil.

Uno de los colaboradores preferidos de Boyle era otro Robert unos años más joven que él: Robert Hooke (1635-1702). Era más inteligente incluso que Boyle, pero a diferencia de él, provenía de una familia pobre y había tenido que abrirse camino en la vida por sus propios méritos. La Royal Society contrató a Hooke para realizar experimentos en cada una de sus reuniones, de modo que éste adquirió gran habilidad para crear y manejar toda clase de instrumentos científicos. Hooke realizó muchos experimentos, por ejemplo, medir la velocidad del sonido o analizar lo que ocurría cuando se hacía una transfusión de

sangre de un perro a otro. En algunos casos, el perro que había recibido la nueva sangre parecía tener más energía, lo cual les animó a experimentar con humanos. Realizaron una transfusión de sangre de una oveja a un ser humano pero no funcionó, y en París, una persona que había recibido una transfusión murió, así que abandonaron los experimentos. El trabajo de Hooke en las reuniones semanales de la Royal Society era preparar dos o tres experimentos algo menos mortíferos para entretener y estimular a los miembros.

Hooke fue uno de los primeros «sabios» en aprovechar el microscopio. (El sentido literal de *sabio* es «alguien que sabe», y el término a menudo se utilizaba para describir a los que hoy en día consideramos científicos.) Lo utilizó para revelar un nuevo mundo invisible a simple vista, descubriendo estructuras en las plantas, los animales y otros objetos que nunca se habrían podido ver sin él. A los miembros de la Royal Society les encantaba mirar por el microscopio en sus reuniones, y además de las demostraciones de Hooke también recibían numerosas comunicaciones de otro pionero de la microscopía, un holandés llamado Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723). Se trataba de un vendedor de ropa que en su tiempo libre amolaba y pulía lentes muy pequeñas que podían aumentar los objetos más de doscientas veces. Necesitaba lentes nuevas para cada observación, y a lo largo de su larga vida fabricó cientos de ellas. Las colocaba en un soporte metálico, con el pequeño objeto que deseaba examinar detrás. Descubrió organismos diminutos en el agua estancada, bacterias en las raspaduras de sus dientes y muchas más cosas asombrosas. Hooke también creía que su microscopio acercaría la naturaleza al observador, y las ilustraciones de

su libro, *Micrografía*, publicado en 1665 (el mismo año de la epidemia de peste en Londres), causaron sensación. Muchas de ellas nos resultan extrañas porque muestran insectos muy grandes y amplificados, como moscas o piojos, y esas imágenes se han hecho muy famosas. Su libro también está lleno de observaciones y especulaciones sobre la estructura y función de otras cosas que pudo observar a través del microscopio. En una de las imágenes mostraba una sección muy fina de corcho de alcornoque, el material con el que se fabrican los tapones para el vino. A las pequeñas estructuras cuadriculares que observó las llamó «células», y aunque no fueran lo que hoy en día conocemos como tales, el nombre permaneció.

Tanto Boyle como Hooke tenían un aparato mecánico preferido: su propia versión del compresor, que funcionaba del mismo modo que los hinchadores que usamos hoy en día para inflar las ruedas de la bicicleta o las pelotas de fútbol. Tenía una amplia cavidad central, con un pequeño accesorio que podía abrirse en la parte superior y otra apertura en la parte inferior, donde había una válvula por la que se podían expulsar o aspirar gases. Tal vez no fuera muy apasionante, pero ayudó a resolver uno de los mayores desafíos de la ciencia en esa época: si era posible crear un vacío, es decir, un espacio completamente hueco que no contuviera ni siquiera aire. Descartes había insistido en que era imposible («La naturaleza aborrece el vacío», era la frase habitual para expresar esta idea), pero si, como argumentaba Boyle, en última instancia la materia se componía de corpúsculos separados y de distintas formas, debía haber un espacio entre ellos. Si se calienta una sustancia como el agua de modo que se evapore y se convierta en gas, los mismos

corpúsculos seguirán allí, pero el gas ocupará más espacio del que había ocupado el líquido. Tras realizar numerosos experimentos calentando líquidos para transformarlos en gases, Boyle vio que éstos se comportaban de forma bastante parecida cuando se hallaban dentro del compresor. Boyle y Hooke llegaron a una conclusión que sigue conociéndose como la ley de Boyle: a una temperatura constante, el volumen que ocupa cualquier gas tiene una relación matemática concreta con la presión a que está sometido. Decimos que su volumen está directamente influenciado por la presión que le rodea, así que si incrementas la presión reduciendo el espacio que ocupa, el gas se comprime en el espacio de que dispone. (Si aumentas la temperatura, el gas se expande y se genera una nueva presión, pero el principio básico es el mismo.) En el futuro, la ley de Boyle ayudaría al desarrollo del motor a vapor, así que habrá que recordarlo cuando lleguemos a él.

Boyle y Hooke utilizaron su compresor para examinar las características de muchos gases, incluido el «aire» que respiramos. Hay que recordar que el aire era uno de los elementos descritos por los filósofos de la Antigüedad, pero en el siglo XVII mucha gente empezaba a tener claro que el aire que nos rodea y nos mantiene con vida no era una simple sustancia. No cabía duda de que estaba relacionado con la respiración, puesto que al inspirar introducimos aire en nuestros pulmones. Pero ¿qué más hacía? Boyle y Hooke, tanto individualmente como juntos, sentían gran interés por lo que ocurría cuando ardía un trozo de carbón o de madera. También se preguntaban por qué la sangre era de color rojo oscuro antes de entrar en los pulmones y de un rojo vivo al salir. Hooke relacionaba ambas cuestiones y sugirió que lo

que sucede en los pulmones es una clase especial de combustión, en la que el «aire» constituye la sustancia que conecta tanto la respiración como la combustión. Hooke dejó la reflexión en este punto, pero los problemas relacionados con la composición y la naturaleza del «aire», así como con lo que sucede durante la respiración y la combustión, continuaron intrigando a los científicos durante más de un siglo, a medida que se repetían y se desarrollaban los experimentos de Boyle y Hooke.

Apenas hubo un campo de la ciencia sobre el que Robert Hooke no reflexionara. Inventó un reloj que funcionaba a través de resortes (un gran avance en el control del tiempo), se preguntó sobre el origen de los fósiles e investigó sobre la naturaleza de la luz. También nos dejó algunos comentarios reveladores sobre un problema que ya hemos señalado antes y que abordaremos con más detalle en el siguiente capítulo: la física del movimiento y la fuerza. Hooke investigó estos aspectos al mismo tiempo que Isaac Newton; tal como veremos, el propio Newton es una de las razones por las que todo el mundo ha oído hablar de sir Isaac, pero poca gente conoce al señor Hooke.

Todo lo que sube...

Newton

Dudo que alguna vez hayas conocido a alguien tan inteligente como Isaac Newton; yo no lo he conocido. Aunque sí es probable que hayas conocido a alguien igual de antipático. Le desagradaba la mayoría de la gente, tenía arranques de mal genio y creía que casi todo el mundo iba a por él. Era hermético, egoísta y a menudo se olvidaba de comer. Tenía muchos otros rasgos desagradables, pero era muy inteligente y eso es lo que recordamos hoy en día, aunque resulte difícil entender lo que pensó y escribió.

Es probable que Isaac Newton (1642-1727) hubiera sido antipático sin importar lo que le hubiera ocurrido, pero lo cierto es que tuvo una infancia bastante difícil. Su padre murió antes de nacer él y su madre, que no esperaba que sobreviviera, le dejó con los abuelos tras volver a casarse y formar otra familia. Newton odiaba a su padrastro, se llevaba mal con su abuelo y no se sentía muy unido ni a su madre ni a su abuela. De hecho, desde muy pequeño empezó a sentir aversión por la gente y prefería la soledad, una característica que conservaría durante toda su vida. Pese a ello, su inteligencia enseguida quedó clara y por ello le

enviaron al instituto de Grantham, cerca de donde vivía, en Lincolnshire, donde aprendió latín (escribía en esta lengua y en inglés con la misma fluidez) y pasó la mayor parte del tiempo fabricando modelos de relojes y otros artefactos mecánicos, además de construir relojes de sol.

Al entrar en el Trinity College de Cambridge, en 1661, también mostró su espíritu independiente. El temario incluía el estudio de los maestros de la Antigüedad, como Aristóteles y Platón, y aunque Newton los leyó (era muy meticuloso tomando notas, así que conocemos todas sus lecturas), prefería a los modernos: Descartes, Boyle y otros exponentes de la nueva ciencia. Leer estaba bien, pero él quería descubrir las cosas por sí mismo. Para ello llevó a cabo numerosos experimentos nuevos, pero en lo que más destacaba era en matemáticas y en cómo utilizarlas para entender mejor el universo.

Newton elaboró la mayoría de sus ideas en un par de años increíblemente productivos. Ningún científico, con la excepción de Einstein (capítulo 32), ha hecho nunca tanto en un espacio tan corto de tiempo. Los años más increíbles de Newton fueron 1665 y 1666, parte de los cuales los pasó en casa de su madre en Woolsthorpe, en Licolnshire, porque la epidemia de peste que asolaba Inglaterra había obligado a la Universidad de Cambridge a cerrar sus puertas y enviar a sus alumnos a casa. Fue entonces cuando Newton observó cómo caían las manzanas maduras de los árboles del jardín materno. Probablemente no fue un hecho tan teatral como se cuenta, pero sí le hizo pensar en un problema para el que aún no se había hallado explicación: por qué las cosas caían a tierra.

Durante este periodo estaba inmerso en la resolución de

numerosos problemas científicos. Tomemos por ejemplo las matemáticas. Galileo, Descartes y muchos otros filósofos naturales (es decir, científicos) habían realizado grandes avances en el desarrollo de las matemáticas como campo de estudio y, más importante aún, en su utilización para entender los resultados de sus observaciones y experimentos. Newton era todavía mejor matemático, y un genio en el uso científico de éstas. Para describir el movimiento y la gravedad desde un punto de vista matemático, el álgebra y la geometría no bastan; es necesario ser capaz de analizar unidades de tiempo y movimiento muy pequeñas, infinitesimales, de hecho. Al examinar una bala disparada por una pistola, una manzana que cae de un árbol o un planeta que gira alrededor del Sol hay que centrarse en la distancia que recorre en el más breve intervalo de tiempo concebible. Muchos filósofos naturales antes de Newton habían detectado el problema y ofrecido diversas soluciones, pero Newton, con veintitantos años, desarrolló sus propias herramientas para realizar el trabajo. Lo denominó su método de «fluxiones» en referencia a la palabra *flujo*, que significa cambio constante. Las fluxiones de Newton realizaban la clase de cálculos que seguimos utilizando en el ámbito de las matemáticas denominado «cálculo». En octubre de 1666, tras terminar un trabajo escrito para su propia satisfacción, era ya el principal matemático de Europa, aunque nadie aparte de él lo supiera. No publicó sus descubrimientos matemáticos en ese momento, sino que prefirió utilizarlos y sólo compartió sus métodos y resultados con sus colegas a la larga.

Además de dedicarse a las matemáticas, Newton empezó a investigar la luz. Desde la Antigüedad, se daba por hecho

que la luz del sol era blanca, pura y homogénea (en el sentido de que estaba compuesta por una sola cosa). Se creía que los colores eran el resultado de modificaciones de este rayo esencialmente puro. Newton estudió los trabajos de Descartes sobre la luz y repitió algunos de sus experimentos con lentes y un objeto de cristal llamado «prisma», que podía dividir la luz. Es famosa la prueba que realizó al permitir la entrada de un rayo diminuto de luz en su habitación a oscuras a través de un prisma, para que alcanzara la pared a siete metros de distancia. Si la luz era homogénea, tal como Descartes y muchos otros pensaban, la proyección en la pared debería consistir en un círculo blanco de la misma forma que el agujero a través del que pasaba el rayo, pero en lugar de eso, lo que apareció fue una amplia franja multicolor. Newton no consiguió exactamente un arcoíris, pero estaba en camino de explicar cómo se forman.

Durante los años de la epidemia de peste, Newton también prosiguió con sus trabajos sobre mecánica: las leyes que gobiernan los cuerpos en movimiento. Hemos visto cómo Galileo, Kepler, Descartes y otros desarrollaron ideas para explicar (y describir de forma matemática) lo que ocurre cuando se dispara una bala de cañón o la Tierra se mueve alrededor del Sol, un tema por el que también se había interesado Robert Hooke. Newton leyó sus trabajos, pero fue más allá. En una ocasión escribió a Hooke: «Si he conseguido ver más lejos ha sido colocándome sobre los hombros de los gigantes». ¿Te acuerdas de cuando tus padres te llevaban a hombros? Cuando uno se eleva de repente dos o tres veces por encima de su estatura habitual ve cosas que no había podido ver antes, y eso fue lo que hizo Newton. Su maravillosa imagen describe cómo cada

científico, y cada generación de científicos, puede beneficiarse de los descubrimientos de quienes lo precedieron. Esa es la esencia de la ciencia.

Pero el propio Newton era también un gigante, y él lo sabía. Los problemas aparecieron cuando percibió que los demás no lo reconocían. Sus problemas con Robert Hooke empezaron cuando Newton ofreció su primer artículo a la Royal Society, que hizo lo que las revistas de ciencia siguen haciendo hoy en día: lo enviaron a otro experto para que diera su opinión. Se llama «evaluación por homólogos» (*peer review*) y se trata de un proceso que forma parte de la transparencia de la que se precian los científicos. En este caso la Royal Society escogió a Hooke puesto que él también había investigado la luz. A Newton no le gustaron en absoluto sus comentarios y se planteó incluso renunciar a su pertenencia a la Royal Society, pero ésta ignoró su carta de renuncia.

Tras su increíble estallido de energía creativa en la década de 1660, Newton centró su atención en otros temas, entre ellos la alquimia y la teología. Como siempre, llevó un meticuloso registro de sus lecturas y experimentos, que siguen leyendo aquellos que desean entender este aspecto del pensamiento de Newton. En ese momento mantuvo esas reflexiones e investigaciones en secreto, sobre todo sus puntos de vista religiosos, que diferían de la doctrina de la Iglesia de Inglaterra. Uno de los requerimientos de la Universidad de Cambridge era que sus alumnos aceptaran las creencias de la Iglesia oficial. Por suerte para Newton y para la ciencia, éste disfrutaba de potentes apoyos en la universidad que le permitieron convertirse en socio del Trinity College y más tarde ser incluso elegido profesor

Lucasiano de Matemáticas, sin haber tenido que jurar que creía en las doctrinas de la Iglesia, cátedra que ocupó durante más de veinte años. Por desgracia, era un profesor terrible y sus alumnos eran incapaces de entender de qué hablaba, de modo que a veces, al llegar al aula, se la encontraba vacía. Sus clases trataban siempre de materias respetables, como la luz y el movimiento, no sobre alquimia y teología, que era lo que él estudiaba en secreto; ¡a lo mejor eso habría sido más emocionante para los alumnos!

A mediados de la década de 1680, las investigaciones de Newton en matemáticas, física y astronomía empezaron a ser conocidas. Había escrito muchos artículos y publicado algunos, pero a menudo señalaba que su trabajo científico era sólo para él, o para los que vinieran tras su muerte. En 1684 el astrónomo Edmund Halley le visitó en Cambridge. (En 2061 será visible desde la Tierra el cometa Halley, bautizado así en honor a él.) Halley y Hooke habían conversado sobre la forma de la órbita que tomaría un objeto que girara alrededor de otro (como la Tierra alrededor del Sol, o la Luna alrededor de la Tierra), y se preguntaban si ésta se vería afectada por la gravedad, a través de lo que hoy en día conocemos como la «ley de la inversa del cuadrado». La gravedad constituye tan sólo uno de los ejemplos de esta ley, que plantea que la fuerza de la gravedad disminuye con el cuadrado de la distancia entre dos objetos y, por supuesto, se incrementa en la misma medida cuando éstos se acercan. La tracción sería mutua, pero también hay que tener en cuenta la masa de los cuerpos. Si uno de ellos, por ejemplo la Tierra, es muy grande y el otro, por ejemplo una manzana, es muy pequeño, la Tierra asumirá casi toda la fuerza de atracción. En el capítulo 12 explicábamos cómo Galileo

utilizó una función «cuadrada» en sus trabajos sobre los cuerpos que caen y también lo veremos en algunos de los capítulos siguientes, pues a la naturaleza parece gustarle que las cosas ocurran en base a una función de algo al cuadrado, ya sea el tiempo, la aceleración o la atracción. Cuando trabajes con cuadrados ($3 \times 3 = 9$, o 3^2, por ejemplo), recuerda que es probable que la naturaleza esté sonriendo.

La visita de Halley hizo que Newton dejara de lado la teología y la alquimia, se pusiera a trabajar y produjera su mayor obra, una de las más importantes de la historia de la ciencia, aunque no sea de lectura fácil. Hoy en día es conocida como *Principia,* pero su título completo en latín (Newton escribía en esa lengua) era *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Principios matemáticos de la filosofía natural: recuerda que «filosofía natural» era el término que se usaba antiguamente para la ciencia). El libro de Newton proporcionaba todos los detalles para la aplicación de sus nuevas matemáticas y explicaba numerosos aspectos de naturaleza física mediante números, en lugar de con palabras. Pocas personas eran capaces de entenderlo en la época de Newton, pero su mensaje fue ampliamente valorado. Era un nuevo modo de mirar y describir el universo.

Muchos de los aspectos de la concepción del mundo y el cielo de Newton están incluidos en sus tres famosas leyes del movimiento, descritas en los *Principia*. La primera ley afirma que cualquier cuerpo permanece en reposo o se mueve en línea recta a menos que algo (otra fuerza) influya sobre él. Una roca permanecerá en su sitio sobre una montaña a menos que algo (una lluvia torrencial, un ser humano) la mueva, y si no existe ninguna interferencia

(fricción) se desplazará en línea recta hasta el final.

La segunda ley asevera que si un cuerpo está en movimiento una fuerza puede cambiar su dirección. La magnitud del cambio depende de la intensidad de la fuerza, y el cambio de dirección se produce según la línea recta de la dirección de la nueva fuerza. Así que, si golpeamos por un lado un globo que cae, se moverá de lado; si lo golpeamos desde arriba, bajará más rápido.

La tercera ley del movimiento establece que para cualquier acción existe siempre una reacción igual y contraria. Eso significa que dos cuerpos actúan siempre respecto al otro del mismo modo pero en direcciones opuestas. Si golpeas un globo, se alejará de tu mano, pero también provocará un efecto sobre tu mano (que podrás sentir). Si golpeas una roca grande, ésta no se moverá, pero tu mano rebotará y te dolerá. Eso es debido a que a los objetos ligeros les cuesta más influir en los pesados que al contrario. (Ya hemos visto que con la gravedad ocurría lo mismo.)

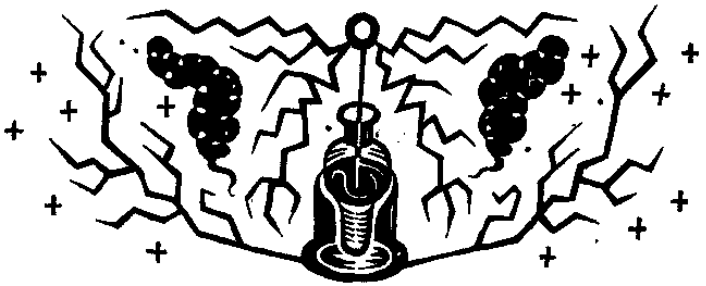
Estas tres leyes respondían a los rompecabezas planteados por anteriores filósofos naturales. En manos de Newton, explicaban numerosas observaciones, desde el movimiento de los planetas hasta la trayectoria de una flecha disparada con un arco. Las leyes del movimiento abrieron la posibilidad de ver el universo como una máquina gigante y uniforme, como un reloj que mide el tiempo gracias a sus resortes, palancas y movimientos. Los *Principia* de Newton fueron reconocidos como una obra poderosa y genial, y convirtieron a este hombre introvertido y problemático en una especie de celebridad. Su recompensa fue el cargo de guardián de la Moneda, la Administración

donde el Gobierno fabricaba las monedas y controlaba el suministro de dinero. Newton se entregó a su nuevo trabajo con entusiasmo, persiguiendo a los falsificadores y supervisando la provisión nacional de dinero. Tuvo que trasladarse a Londres, así que renunció a todos sus contactos en Cambridge y pasó los últimos treinta años de su vida en la capital, donde se convirtió en presidente de la Royal Society.

Durante esta última época, Newton realizó una significativa revisión de los *Principia* e incluyó parte de su trabajo posterior, además de responder a diversas críticas surgidas tras su publicación. Es algo que los científicos hacen a menudo. Poco después de la muerte de Robert Hooke, Newton publicó su segunda obra magna científica, *Opticks* (1704), centrada en la luz. Newton y Hooke habían discutido mucho sobre cuál de ellos había descubierto antes qué y acerca de la interpretación de los resultados de sus experimentos sobre lo que era la luz y cómo se comportaba. Newton había realizado gran parte del trabajo para su obra casi cuarenta años antes, pero había sido reacio a publicarlo mientras Hooke estaba vivo. Igual que los *Principia, Opticks* tuvo gran trascendencia; encontraremos algunas de sus conclusiones en capítulos posteriores, cuando otros científicos se suban a los hombros de Newton.

Isaac Newton fue el primer científico en ser nombrado *sir* y disfrutó de un gran poder, aunque de poca felicidad. No fue lo que llamaríamos un hombre simpático, pero sí uno grande, uno de los científicos más genuinamente creativos que ha vivido nunca, cuyas asombrosas contribuciones a nuestra comprensión del universo siguen celebrándose. Sus *Principia* constituyen el punto culminante de la astronomía

y la física que Kepler, Galileo, Descartes y muchos otros habían perseguido durante mucho tiempo. En su libro, Newton aunó en un solo sistema la Tierra y los cielos, puesto que sus leyes se aplican a todo el universo. Ofreció explicaciones matemáticas y físicas al modo en que se mueven los planetas y los cuerpos caen al suelo, y proporcionó las bases de la física que los científicos usaron hasta el siglo XX, cuando Einstein y otros científicos demostraron que en el universo había mucho más de lo que sir Isaac había imaginado.



Chispas luminosas

¿Te has preguntado alguna vez qué es exactamente un rayo y por qué le sigue el rugido de un trueno? Se trata de fenómenos que ocurren en lo alto, en el cielo, y resultan bastante espectaculares, aun cuando sepamos a qué se deben. Igual que los rayos siempre buscan el suelo, a principios del siglo XVIII los científicos empezaron a preguntarse sobre este tema y sobre la electricidad mucho más cerca de casa.

Una de las preguntas que se formulaban estaba relacionada con lo que acabó conociéndose como «magnetismo». Los griegos de la Antigüedad sabían que si frotas con fuerza un trozo de ámbar (una piedra semipreciosa amarilla), éste atraerá a los pequeños objetos que tenga cerca. Resultaba difícil entender las causas de esta propiedad, que parecía distinta de la fuerza constante de una clase distinta de piedra, el imán, para atraer objetos que contuvieran hierro. Igual que la Estrella Polar muestra el rumbo, el imán también guiaba a los viajeros: se trataba de una pieza especial de mineral que, si permanecía en suspensión de modo que pudiera girar con libertad, siempre

apuntaba hacia los polos magnéticos. Los imanes también podían usarse para magnetizar agujas, y en época de Copérnico, a mediados del siglo XVI, los navegantes utilizaban brújulas rudimentarias para encontrar su camino, puesto que uno de los extremos de la aguja móvil siempre señalaba hacia el norte. Un médico inglés llamado William Gilbert escribió sobre el tema en 1600, cuando apareció el término *magnetismo*. Tanto la electricidad como el magnetismo podían producir efectos divertidos y eran muy populares tanto en las conferencias científicas como en los juegos para después de cenar.

No tardaron en obtener efectos aún más espectaculares haciendo girar un globo de cristal sobre un punto y frotándolo al mismo tiempo: las chispas podían verse y oírse al tiempo que se producían sobre el cristal. Este artefacto se convirtió en la base de lo que se llamó la «botella de Leyden», por el nombre del pueblo holandés en que un profesor universitario la inventó en 1745. La botella estaba medio llena de agua y conectada a través de un cable a una máquina que generaba electricidad. El conector recibía el nombre de «conductor» porque permitía el paso de la misteriosa corriente hasta el agua de la botella, donde se almacenaba. Cuando un ayudante de laboratorio tocó el borde de la jarra y el conductor, recibió una descarga tal que creyó que todo había acabado para él. La difusión de este experimento causó sensación y la botella de Leyden se puso muy de moda, hasta el punto que diez monjes se cogieron de la mano y, cuando uno tocó la botella y el conductor, todos recibieron una descarga simultánea. Por lo visto, las sacudidas eléctricas pasaban de persona a persona.

¿Qué estaba sucediendo? Más allá del aspecto curioso,

por debajo subyacían serias consideraciones científicas. Corrían muchas teorías, pero el hombre que puso un poco de orden fue Benjamin Franklin (1706-1790), a quien tal vez conozcas por ser un pionero norteamericano que ayudó a escribir la Declaración de Independencia (1776) después de que Estados Unidos se independizara del Imperio británico. Se trataba de un hombre ingenioso y respetado, lleno de sabiduría popular, autor de frases célebres como «el tiempo es dinero» y «en este mundo no hay nada seguro excepto la muerte y los impuestos». La próxima vez que te sientes en una mecedora, o veas a alguien con gafas bifocales, piensa en él: fue quien las inventó.

Autodidacta en su mayor parte, Franklin sabía mucho de muchas cosas, incluida la ciencia. Se sentía tan en casa en Francia como en Gran Bretaña y Estados Unidos, y se encontraba en Francia cuando realizó su experimento científico más conocido, con un rayo. Como mucha gente en las décadas de 1740 y 1750, Franklin sentía curiosidad por las botellas de Leyden y lo que éstas podían demostrar. En sus manos, demostraron mucho más de lo que se creía. En primer lugar, se dio cuenta de que las cosas podían acarrear cargas positivas o negativas (como puedes ver en los signos + y − de los extremos de las pilas). En la botella de Leyden, el cable conector y el agua de dentro de la jarra tenían una carga positiva, mientras que la superficie exterior era negativa. La carga positiva y la negativa tenían la misma fuerza, de modo que se anulaban. Mediante experimentos posteriores se convenció de que la energía de la botella residía en el cristal, y fabricó una especie de batería (fue él quien inventó la palabra) colocando un trozo de cristal entre dos tiras de plomo. Al conectar su aparato a una fuente de

electricidad, podía descargarse la «batería». Por desgracia, no llevó más allá su experimento.

Franklin no fue el primero en plantearse la relación entre las chispas generadas por las máquinas en la tierra y las del cielo, es decir, los rayos. Pero sí fue el primero en aplicar lo que había descubierto sobre la botella de Leyden para tratar de averiguar cómo podían relacionarse, y para ello decidió realizar un inteligente (pero peligroso) experimento. Según él, la electricidad de la atmósfera se acumularía en el borde de las nubes, del mismo modo que lo hacía en la botella de Leyden. Si dos nubes chocaban entre sí mientras surcaban el cielo durante una tormenta, el resultado sería una descarga de electricidad: un rayo de luz. Si hacía volar una cometa en medio de una tormenta, podría demostrar que estaba en lo cierto: la persona que la manejara debía estar aislada de forma conveniente (utilizando un asa de cera para sujetar la cuerda) y «anclada» (con un trozo de cable atado a su alrededor y conectado al suelo). Sin estas precauciones, la descarga eléctrica podría matarle y, por desgracia, un infortunado experimentador murió por no seguir las instrucciones de Franklin. El experimento de la cometa convenció a Franklin de que la electricidad de los rayos era la misma que la de las botellas de Leyden.

Primero la gravedad, ahora la electricidad: los acontecimientos celestes y terrestres estaban cada vez más unidos.

El trabajo de Franklin sobre la electricidad tuvo consecuencias prácticas inmediatas. Demostró que una vara metálica con la punta afilada conducía la electricidad hasta el suelo, de modo que si se colocaba sobre un edificio, con un cuerpo conductor aislado que la llevara hasta el suelo,

podía protegerse el edificio del rayo y de este modo no ardería. En una época en la que la mayoría de las casas era de madera y a menudo tenía tejados de paja, se trataba de un serio problema. Los pararrayos, tal y como todavía se los conoce, funcionan según este principio, y hoy en día sigue usándose el término «toma de tierra» para el trozo de cable aislado de nuestros enchufes que desvía el exceso de carga eléctrica de aparatos como la lavadora y la nevera. Franklin conectó un pararrayos en su propia casa, y la idea tuvo éxito. La comprensión de la electricidad demostró tener importantes repercusiones.

El estudio de la electricidad fue una de las áreas de investigación científica más apasionantes del siglo XIX, y muchos «electricistas», tal y como se les conocía, contribuyeron a recabar el conocimiento del que hoy disponemos. El nombre de tres de ellos en particular ha llegado hasta nuestros días. El primero fue Luigi Galvani (1737-1798), un médico al que le gustaba jugar con aparatos eléctricos y animales. Practicaba la medicina y daba clases tanto de Anatomía como de Obstetricia (el área de la medicina relacionada con el nacimiento) en la Universidad de Bolonia, pero estaba también muy interesado en los estudios psicológicos. Mientras investigaba la relación entre los músculos y los nervios, descubrió que era posible contraer el músculo de una rana si el nervio correspondiente estaba conectado a una fuente de electricidad. En posteriores experimentos, conectó el músculo a una botella de Leyden, capaz de generar y descargar una corriente eléctrica, y afirmó que la electricidad constituía una parte importante de los animales. De hecho, la «electricidad animal», tal y como la denominó, le parecía uno de los ingredientes principales

del funcionamiento animal. Y estaba en lo cierto.

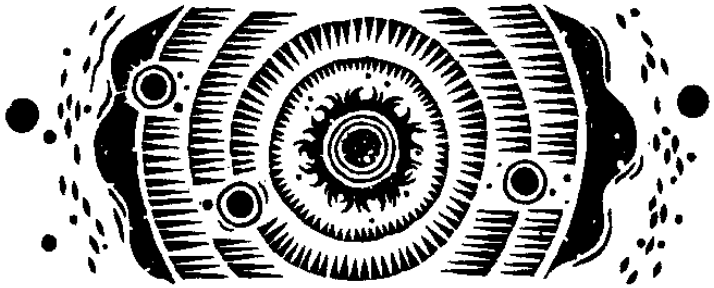
Las descargas de electricidad estática, que se produce cuando se descarga la electricidad generada en la superficie de un objeto, siguen llamándose «descargas galvánicas». Los científicos y los electricistas usaban galvanómetros para medir las corrientes eléctricas. La noción de Galvani de electricidad animal levantó grandes dosis de crítica, sobre todo por parte de Alessandro Volta (1757-1827), un científico de Como, en el norte de Italia. Volta tenía una muy mala opinión de los médicos que se pasaban al campo de la física, y se propuso demostrar que la electricidad animal no existía. Volta y Galvani sostuvieron un apasionado debate público sobre la interpretación de los experimentos del segundo. En el curso de su extenso trabajo orientado a desacreditar a Galvani, Volta estudió la anguila eléctrica, que, como pudo demostrarse, producía electricidad, pero creía que ni siquiera estos animales hacían que la «electricidad animal» de Galvani resultara más convincente. Más importante aún fue el descubrimiento de Volta de que si amontonaba capas alternadas de zinc y de plata, separadas por capas de cartón mojado, podía producir una corriente eléctrica continua a través de todos los estratos. Envió una reseña de su invención, que denominó «pila», a la Royal Society de Londres y, tal como había sucedido con la botella de Leyden, causó gran sensación en Inglaterra y Francia.

En esa época, Francia estaba ocupada conquistando el norte de Italia y el emperador francés, Napoleón Bonaparte, condecoró al físico italiano por su invento, que proporcionaba una fuente fiable de corriente eléctrica para la investigación experimental. La pila de Volta jugó un papel esencial en la química del siglo XIX; supuso el desarrollo de la

batería de Franklin y se ha convertido en un objeto imprescindible en nuestras vidas. Volta es recordado porque de su nombre se derivó el término *voltio*, la unidad para medir la corriente eléctrica (la próxima vez que cambies unas pilas, comprueba la etiqueta).

Hay un tercer electricista destacado (y formidable matemático) que también dio su nombre a una medida de electricidad: André-Marie Ampère (1775-1836), del que deriva la palabra *amperio*. Ampère vivió la traumática experiencia de la Revolución francesa y sus consecuencias, pues su padre perdió la cabeza en la guillotina. Su vida personal fue igual de triste. Su amada primera esposa murió poco después del nacimiento de su tercer hijo y su segundo matrimonio fue profundamente infeliz y acabó en divorcio. Sus hijos terminaron mal, y él se vio acuciado toda su vida por problemas económicos. En medio de este caos, Ampère descubrió algunos aspectos fundamentales de las matemáticas, la química y, sobre todo, lo que él denominaba «electrodinámica», una compleja área de conocimiento que aunaba la electricidad y el magnetismo. A pesar de su complejidad, los sencillos pero elegantes experimentos de Ampère demostraron que, en realidad, el magnetismo era electricidad en movimiento. Su trabajo constituye la base de los de Faraday y Maxwell, y lo trataremos en detalle cuando estudiemos a estos gigantes del electromagnetismo. Aunque los científicos posteriores demostraron que muchos de los detalles de las teorías de Ampère no llevaban a ninguna parte, fue él quien proporcionó el punto de partida para gran parte de la investigación en electromagnetismo. Es importante recordar que en ocasiones la ciencia también consiste en equivocarse.

En la época de la muerte de Ampère, la domesticación de la electricidad había recorrido un largo trecho. Los estudios de Franklin eran algo rudimentarios y, a pesar de su inteligencia, él no era más que un aficionado comparado con Galvani, Volta y Ampère, que utilizaban un equipo más sofisticado y trabajaban en laboratorios. Al final, Galvani le ganó la partida a Volta, puesto que hoy en día sabemos que la electricidad juega un papel importante en la interacción de músculos y nervios.



El universo mecánico

La revolución estadounidense de 1776 (también conocida como Guerra de Independencia), la Revolución francesa de 1789 y la Revolución rusa de 1917 trajeron consigo nuevas formas de gobierno y un nuevo orden social. Pero hubo también una revolución newtoniana. Poca gente sabe de ella, pero fue igual de importante y, aunque tuvieron que pasar décadas más que años para percibir sus efectos, sus consecuencias fueron profundas. La revolución newtoniana describía el mundo en el que vivimos.

Tras su muerte en 1727, sir Isaac continuó siendo una figura preeminente en el siglo XVIII. En todos los campos de conocimiento, los estudiosos aspiraban a convertirse en el nuevo Newton de su materia: Adam Smith quería ser el Newton de la economía, hubo quien llamó a William Cullen el Newton de la medicina, y Jeremy Bentham se esforzó por convertirse en el Newton de las reformas sociales y políticas. Lo que todos ellos buscaban era una ley o principio general que aglutinara su disciplina, del mismo modo que la gravedad de Newton parecía sostener el universo en su progresión regular y majestuosa a través de las estaciones y

los años. Como escribió en tono humorístico el poeta Alexander Pope: «La naturaleza y sus leyes yacían ocultas en la noche. / "¡Que sea Newton!", dijo Dios, y se hizo la luz».

Teniendo en cuenta que Pope era inglés, cabe la posibilidad de que su juicio fuera partidista a favor de su compatriota. En Francia, Alemania e Italia, Newton disfrutó de una fama considerable incluso en vida, pero había otras tradiciones científicas que seguían vigentes. En Francia, la visión mecánica del universo de Descartes continuaba en su apogeo, mientras que en Alemania se sucedían las disputas sobre quién había inventado el cálculo, y los admiradores del filósofo G.W. Leibniz (1646-1716) insistían en rebajar la importancia de Newton en el desarrollo de esta herramienta matemática en favor de su hombre. En Gran Bretaña, sin embargo, Newton gozaba de un buen número de seguidores encantados de llamarse a sí mismos newtonianos que aprovechaban sus magníficos trabajos en matemáticas, física, astronomía y óptica.

Pese a todo, la fuerza de la óptica experimental y las leyes del movimiento de Newton fue arraigando poco a poco en el pensamiento europeo. Su reputación recibió la ayuda de un inesperado abogado, el poeta, novelista y hombre de letras Voltaire (1694-1778), cuya creación más famosa era el adorable personaje de Cándido, protagonista de un relato de aventuras. La vida de Cándido es una sucesión de desgracias en la que todo lo que puede salir mal sale mal, pero él nunca olvida su filosofía: el mundo que Dios creó *tiene que* ser el mejor mundo posible. Así que mantiene siempre su buen humor, seguro de que lo que le ocurre, no importa cuán espantoso sea, es por su bien «en el mejor de los mundos

posibles». (Aunque tras finalizar sus terribles aventuras, concluye que debería haberse quedado en casa cuidando de su jardín, lo cual es, sin duda, un buen consejo.)

Cándido constituía una sutil crítica a la filosofía del rival de Newton en la invención del cálculo, Leibniz. Voltaire era un gran fan de Newton y, de hecho, de todo lo inglés. Había pasado un par de años en Inglaterra y se quedó muy impresionado con la libertad de expresión y de pensamiento que existía allí. (Voltaire había sido encarcelado en Francia por criticar a la Iglesia católica y al rey francés, así que sabía lo importante que resulta la libertad de expresión.) También regresó de Inglaterra con un alto concepto de los logros de Newton, y escribió una versión popular en francés de sus ideas para la gente común. El libro de Voltaire disfrutó de un gran número de lectores en Europa, donde todo el mundo hablaba de la forma en que las matemáticas y la física de Newton habían dado sentido al movimiento de los planetas y las estrellas, la subida y la bajada de las mareas, la trayectoria de los proyectiles y, por supuesto, la caída de las manzanas.

Newton fue adquiriendo de forma gradual su destacada reputación gracias a que las herramientas, tanto matemáticas como físicas, que describió en sus famosos *Principia* realmente funcionaban y ayudaron a matemáticos, físicos y astrónomos a estudiar una serie de problemas por los que Newton sólo pasó por encima. No existe ningún trabajo científico que tenga la última palabra, y lo mismo sucedió con el de Newton, aunque muchas personas se alegraron de que éste se convirtiera en el gigante sobre cuyos hombros pudieron sentarse ya que, en muchos sentidos, les ayudó a ver más allá.

Vamos a analizar tres ejemplos: las causas de las mareas, la forma de la Tierra, y el número y las órbitas de los planetas del sistema solar.

En la naturaleza existen mareas altas y bajas: la marea baja se da cuando el mar se «aleja» y tienes que caminar mucho más antes de poder bañarte, y la marea alta se da cuando el mar se «acerca» y se lleva tus castillos de arena. Las mareas siguen un patrón diario y regular, y para los marineros era muy importante conocerlas, pues tal vez necesitaran una marea alta para entrar con su barco en el puerto. Aristóteles había establecido una relación entre las mareas y la Luna. Después de que se extendiera la creencia de que la Tierra se movía, hubo quien comparó las mareas con el movimiento del agua dentro de un vaso cuando lo agitas. Para Newton, la clave era la gravedad. Según él, la «atracción gravitacional» de la Luna es mayor cuando ésta se encuentra más cerca de la Tierra. (Del mismo modo que la Tierra alrededor del Sol, la Luna gira alrededor de la Tierra de forma elíptica, de modo que la distancia entre ambas varía con regularidad.) La gravedad de la Luna atrae el agua de los océanos hacia ella; a medida que la Tierra gira sobre sí misma, una zona del mar se acerca a la Luna y a continuación se aleja, así que la mayor o menor fuerza de la gravedad hace que los océanos suban y bajen en los intervalos regulares que conocemos. Eso explica las mareas. Newton tenía razón al afirmar que éstas ilustraban la gravedad en movimiento.

Científicos newtonianos posteriores afinaron los cálculos del maestro. El médico suizo Daniel Bernoulli (1700-1782) ofreció un análisis más detallado de las mareas en 1740. Las matemáticas, la física y la navegación le interesaban mucho

más que la medicina, y también contribuyó a explicar la vibración de las cuerdas (por ejemplo al rasguear una guitarra) y la oscilación de los péndulos (como en los relojes de pie). Asimismo, mejoró el diseño de los barcos. En la escuela de Medicina de Basilea, usó la mecánica de Newton para analizar diversos temas, como la forma en que nuestros músculos se contraen y se acortan para mover las extremidades. Su trabajo sobre las mareas era una respuesta a una cuestión planteada por la Academia de Ciencias de París, que ofrecía un premio a la mejor respuesta, algo que hacían a menudo las sociedades científicas. Bernoulli compartió el premio con algunas personas más, cada una de las cuales contribuyó a explicar el comportamiento de las mareas incluyendo también en sus explicaciones el efecto gravitacional del Sol. Cuando dos cuerpos, como la Tierra y la Luna, se atraen mutuamente, las matemáticas resultan relativamente sencillas. En el mundo real, el Sol, los planetas y otros objetos con masa complican el dibujo, y las matemáticas se vuelven mucho más complejas.

La Academia de las Ciencias de París también se ocupó de otra de las principales cuestiones del newtonianismo: ¿era la Tierra una esfera redonda? Resultaba fácil darse cuenta de que no era completamente plana, como una mesa de ping pong, puesto que tenía montañas y valles, pero ¿era en esencia redonda? Newton había afirmado que no, tras demostrar con experimentos realizados con un péndulo que la fuerza de la gravedad era levemente distinta en el ecuador que en el norte de Europa. La oscilación del péndulo se ve afectada por la fuerza de la gravedad de la Tierra: cuanto más intensa es la gravedad, más rápido se mueve el péndulo, de modo que necesita menos tiempo para completar su ciclo

de ida y vuelta. Los navegantes habían medido la apertura del péndulo en un segundo exacto, y la distancia era levemente más corta en el ecuador, de lo cual Newton dedujo que la distancia hasta el centro de la Tierra era un poco más grande allí. Si la Tierra fuera una esfera perfecta, la distancia de la superficie al centro sería la misma en cualquier punto; en consecuencia, Newton afirmó que el planeta estaba achatado en los polos, como si lo hubieran aplastado por arriba y por abajo, y sobresalía un poco en el ecuador. A partir de ahí infirió que la forma se debía al movimiento de rotación de la Tierra sobre su eje norte-sur, en el momento en que el planeta aún estaba en sus albores y se enfriaba a partir de su estado líquido. Newton sugirió que eso significaba que la Tierra tenía más de seis mil años, pero nunca reveló la edad que en realidad creía que tenía.

Cuando el trabajo de Newton se debatió en Francia durante la década de 1730, muchos científicos franceses se negaron a creer que la forma de la Tierra fuera imperfecta, así que el rey Luis XV envió dos expediciones, una a Laponia, cerca del Círculo Polar Ártico, y otra a Perú, cerca del ecuador; una forma algo cara de demostrar un hecho sencillo. Lo que hicieron ambas expediciones fue medir la amplitud exacta de un grado de latitud en estas dos localizaciones. La latitud es una medida del eje norte-sur de la Tierra, en la que el ecuador está a 0 grados centígrados, el Polo Norte a +90 y el Polo Sur a -90 (el globo terráqueo tiene en total 360 grados). En los mapamundis puedes ver las líneas de latitud dibujadas de lado a lado. Si la Tierra fuera una esfera perfecta, todos los grados de latitud serían iguales. La expedición a Laponia regresó primero (no tenían que recorrer un camino tan largo), pero cuando el grupo de

Perú volvió al cabo de nueve años, vieron que el grado de latitud de Laponia era más amplio que el del Perú, tal y como había predicho Newton en su modelo. Estos resultados contribuyeron a aumentar su reputación en la Europa continental.

Los astrónomos de toda Europa observaban las estrellas y los planetas en un intento de predecir sus movimientos y, a partir de ellos, dónde podrían verse cada noche (o cada año). Estas predicciones se volvieron más precisas a medida que aumentaron las observaciones y el análisis matemático de su movimiento se hizo más exacto. La construcción de telescopios más grandes permitió a los astrónomos alcanzar mayores distancias de visión y descubrir nuevas estrellas e incluso galaxias. Uno de los astrónomos más destacados fue un refugiado alemán que vivía en Inglaterra, William Herschel (1738-1822). Aunque se dedicaba a la música, su pasión era observar los cielos. Una noche de 1781, distinguió un cuerpo nuevo que no era una estrella. Al principio creyó que se trataba de un cometa y lo describió a un grupo local de Bath, donde residía. Su observación atrajo la atención de otras personas y pronto quedó claro que Herschel había descubierto un nuevo planeta, que acabaría llamándose Urano en honor a un personaje de la mitología griega.

El descubrimiento cambió la vida de Herschel y le permitió dedicarse por entero a la astronomía. El rey Jorge III, cuya familia también provenía de Alemania, se interesó en su trabajo, le ayudó a construir el telescopio más grande del mundo y terminó por invitarle a vivir cerca de Windsor, en uno de los castillos reales. Herschel estaba tan entregado a la observación de los cielos, que al trasladarse a Windsor organizó su vida de modo que no se perdiera ni una sola

noche de observación. A lo largo de todo su trabajo recibió la ayuda de su hermana Caroline (1750-1848), que también era una experta astrónoma. El hijo de Herschel, John (1792-1871), continuó el trabajo de su padre y lo convirtió en un negocio familiar.

William Herschel no sólo observaba las estrellas, los planetas y otros cuerpos celestes; también reflexionaba profundamente sobre lo que veía. Puesto que disponía de los mejores telescopios de su época, podía ver más que nadie. Elaboró catálogos de estrellas mucho más extensos y precisos que cualquiera de los anteriores. Se dio cuenta de que nuestra galaxia, la Vía Láctea, no era la única del universo, y reflexionó largo y tendido sobre lo que se denominaba «nebulosas», zonas del cielo que aparecían como manchas borrosas blancas. Algunas de ellas pueden verse a simple vista en las noches claras, pero el telescopio de Herschel reveló muchas más de estas áreas emborronadas. Al mirar los puntos más distantes de la Vía Láctea, ésta empieza a verse borrosa, y los astrónomos habían dado por hecho que las nebulosas eran simples aglomeraciones de estrellas. Herschel demostró que algunas probablemente lo eran, pero en otros casos se trataba de enormes áreas de nubes gaseosas que se arremolinaban en el espacio. Además, tras observar las «estrellas dobles», parejas de estrellas muy cercanas la una a la otra (teniendo en cuenta las distancias de las que hablamos), demostró que su comportamiento podía explicarse a través de la atracción gravitacional. La gravedad de Newton extendía así su acción a los extremos más alejados del universo.

Las leyes de la gravedad y el movimiento de Newton, junto con su análisis matemático de la fuerza, la aceleración

y la inercia (la tendencia a moverse en línea recta), se convirtieron en los principios que guiaron a los filósofos naturales durante el siglo XVIII. El que más hizo para demostrar el alcance de estos principios fue el francés Pierre Simon de Laplace (1749-1827). Laplace trabajó con Lavoisier, a quien conoceremos en el capítulo 20, pero a diferencia de su desafortunado amigo, consiguió salir indemne de la Revolución francesa. Admirado por Napoleón, se convirtió en una figura capital de la ciencia francesa durante medio siglo. Laplace utilizó las leyes del movimiento de Newton y sus herramientas matemáticas para demostrar que lo que uno veía en el cielo podía entenderse, y que los futuros movimientos de planetas, estrellas, cometas y asteroides podían predecirse con precisión. Desarrolló una teoría que afirmaba que nuestro sistema solar, con el Sol y sus planetas, podría haberse creado hacía millones de años tras una explosión gigantesca, en la que el Sol expulsó grandes masas de gases calientes que al enfriarse formaron los planetas (y sus lunas). Bautizó su teoría como la «hipótesis nebular» y proporcionó complejos cálculos matemáticos para demostrar que era probable que las cosas hubieran sucedido así. Laplace estaba describiendo una versión de lo que hoy en día conocemos como el Big Bang (capítulo 39), aunque los físicos actuales tienen una comprensión mucho más profunda del fenómeno que aquella a la que podía aspirar Laplace.

Laplace estaba tan impresionado con la trascendencia de las leyes de Newton que creía que si pudiéramos saber dónde se encuentra cada partícula del universo en un momento dado, podríamos predecir el comportamiento de éste hasta el fin de los tiempos. Aunque también era

consciente de que era imposible. Su intención era hacer hincapié en que el alcance de las leyes de la materia y del movimiento implicaba que el universo funcionaba realmente como un reloj de gran precisión que no se adelantaba ni se atrasaba nunca. Su visión de un universo mecánico fue utilizada por los científicos durante un siglo después de su muerte.

Ordenar el mundo

Nuestro planeta es el hogar de una desconcertante variedad de plantas y animales. Todavía no sabemos cuántos insectos o criaturas marinas existen, aunque nos preocupa con razón que la raza humana esté reduciendo su número. Las especies en peligro, como los pandas gigantes o los tigres de India, aparecen en las noticias día sí día no. Para nosotros, en tanto que humanos concienciados, la palabra importante de «especies en peligro» es *peligro*, pero para los científicos, la palabra *especies* es igual de importante. ¿Cómo sabemos que el panda gigante no es la misma clase de animal que el oso pardo, o que un gato salvaje es distinto de los gatos domésticos que acariciamos en nuestros hogares?

En el Génesis, Adán recibe el encargo de dar nombre a las plantas y los animales del Jardín del Edén. Todos los grupos humanos clasifican de alguna forma el mundo vivo que los rodea. Todos los idiomas tienen nombres para las plantas y los animales que utilizan, ya sea porque las cultivan, las recolectan o les proporcionan transporte, carne, piel o leche.

Durante los siglos XVII y XVIII, los exploradores europeos

empezaron a recoger datos de nuevas especies de plantas y animales procedentes de lugares exóticos del planeta: América del Norte y del Sur, África, Asia y más adelante Australia y Nueva Zelanda, así como de las islas de todos los océanos del mundo. Muchas de estas criaturas eran extraordinariamente distintas de las plantas y los animales habituales del Viejo Mundo, pero al examinarlas más de cerca muchas de ellas resultaron no ser tan diferentes. Los elefantes encontrados en Asia y África, por ejemplo, eran tan similares que parecía apropiado utilizar el mismo nombre para ambos. Aun así, existían pequeñas diferencias. ¿Cómo es posible dar cuenta de estas leves diferencias y de la rica variedad de la naturaleza?

Desde la Antigüedad se habían dado dos respuestas básicas a esta pregunta. Una consistía en asumir que la naturaleza era tan exuberante que no resultaba sorprendente que se encontraran tantas plantas y animales nuevos en lugares remotos del globo. Se creía que estos nuevos descubrimientos sencillamente rellenaban los huecos de lo que los naturalistas denominaban la «gran cadena del ser», una idea que hemos abordado en el capítulo 5. Aquellos que creían en la cadena del ser argumentaban que Dios era tan poderoso que había creado todas las criaturas que pudieran existir. No les sorprendía encontrar animales que combinaran características de otros, como las ballenas y los delfines en el mar, que parecían peces pero daban a luz como los animales terrestres; o los murciélagos, que en tanto que tenían alas y volaban eran como las aves, pero no ponían huevos. Ello se debía a que los naturalistas creían que todos los aspectos llamativos de la flora y la fauna podían explicarse mediante su pertenencia a la cadena del

ser. La idea del «eslabón perdido», que es posible que hayas oído cada vez que se encuentra un nuevo fósil de importancia, lleva mucho tiempo circulando.

La segunda respuesta consistía en asumir que en un origen Dios había creado todas las *clases* de plantas y animales, y que la vasta variedad que muestra la naturaleza que nos rodea es el resultado de la reproducción que tiene lugar generación tras generación. Los robles producen retoños mediante las bellotas, del mismo modo que los gatos dan a luz a sus cachorros, que crecen y a su vez tienen sus propios cachorros, y así sucesivamente. Con cada generación, o con los cientos o miles de generaciones, los árboles y los gatos serán cada vez más distintos. En este sentido, la enorme variedad de la naturaleza debía entenderse como el resultado de cambios que sucedían a lo largo del tiempo, aunque cada planta y animal podía seguir relacionándose con un diseño original. Al elaborar una relación de las plantas y los animales originales quedaría al descubierto el plan de Dios, como un «árbol de la vida».

Durante el siglo XVIII hubo dos naturalistas que constituyeron la referencia en esta materia, y la casualidad quiso que cada uno reflejara uno de estos dos enfoques divergentes. El primero era un noble francés, el conde de Buffon (1707-1788) Georges-Louis Leclerc, un hombre rico que dedicó su vida a la ciencia. Pasaba una parte del año en su finca y la otra en París, donde estaba al cargo de los jardines del rey, que se parecían mucho a un zoo o una reserva natural de la actualidad. Ya en su juventud se convirtió en un gran admirador de Newton y su física y sus matemáticas, aunque pasó la mayor parte de su vida investigando la naturaleza, con la intención de describir la

Tierra y toda la fauna y la flora que la habitaba. Todas sus meticulosas investigaciones aparecen recogidas en una vasta obra de ciento veintisiete volúmenes, llamada sencillamente *Histoire naturelle*. En esa época, el término *historia* también significaba «descripción», y en estos libros Buffon se propuso describir todos los animales (y algunas plantas) de los que tuvo conocimiento.

Buffon describió casi todo lo que pudo sobre sus animales: su anatomía, su forma de moverse, lo que comían, cómo se reproducían, qué utilidad tenían para nosotros y muchos más aspectos. Se trata de un maravilloso intento moderno de ver los animales en su entorno de la forma más completa posible. En un volumen tras otro, examinó muchos de los mamíferos, aves, peces y reptiles conocidos. Esta enorme obra se publicó a lo largo de cuarenta años a partir de 1749, y los lectores aguardaban ansiosos cada nuevo volumen, que se tradujo a la mayoría de las lenguas europeas.

Buffon estaba fascinado por las características de cada nuevo animal que estudiaba. Es ampliamente conocida su afirmación de que «la naturaleza sólo se fija en lo individual», en el sentido de que en ella no existía ningún orden, sólo un montón de plantas y animales individuales. Eran los humanos los que se esforzaban por clasificarlos en grupos para su propio beneficio. Respecto a la gran cadena del ser, afirmaba que la naturaleza era muy abundante pero que sólo podía estudiarse de criatura en criatura.

El gran rival de Buffon era el médico y naturalista sueco Carlos Linneo (1707-1778), que había estudiado Medicina pero cuya verdadera pasión eran las plantas. Durante la mayor parte de su vida trabajó como profesor en la

Universidad de Uppsala, en el norte de Suecia, donde mantenía un jardín botánico, y envió a muchos de sus estudiantes a recorrer el mundo a recoger plantas y animales para él. Algunos de ellos murieron en sus expediciones, pero sus seguidores siguieron siendo fieles al gran objetivo de Linneo: nombrar con exactitud todas las cosas que existen sobre la Tierra. Para facilitar la tarea, lo que hizo Linneo fue clasificarlas, es decir, definir sus características esenciales, lo cual le permitió encuadrarlas en el «orden de la naturaleza». En 1753, con veintipocos años, escribió un libro corto titulado *Systema naturae* (El sistema de la naturaleza), que consistía básicamente en una larga lista de todas las especies animales y vegetales conocidas agrupadas por géneros. A lo largo de su vida publicó doce ediciones de su obra, cada una de las cuales ampliaba la lista a medida que iba conociendo más clases de plantas y animales, sobre todo las que sus estudiantes encontraban en América, Asia, África y otras partes del mundo.

Desde la antigua Grecia, los naturalistas se habían preguntado si era posible establecer una clasificación «natural» de los seres del mundo. ¿Tienen éstos entre ellos una relación atemporal o establecida por Dios? Y si es así, ¿cómo podemos saberlo? En la era cristiana, lo más habitual era asumir que Dios había creado todas las especies de plantas y animales «en el principio», para que Adán les diera nombre, y que lo que vemos ahora es producto del tiempo y la casualidad.

Linneo simpatizaba con esta idea, pero al mismo tiempo no podía dejar de darse cuenta de hasta qué punto habían cambiado las plantas y los animales desde su creación, lo cual dificultaba enormemente su clasificación «natural». Así

que creía que lo primero que hacía falta eran unas reglas sencillas para ordenar y clasificar todas las cosas del mundo, y lo segundo, dar a éstas una etiqueta sencilla para identificarlas. Ésta fue la tarea de su vida; se veía a sí mismo como un segundo Adán que diera a las cosas su nombre exacto. Al fin y al cabo, ¿cómo podían los zoólogos o los botánicos debatir sobre una clase de «perro» o de «lirio» si no sabían con exactitud de qué clase estaban hablando? Linneo creía que la naturaleza debía tener sus casillas, y cuando todo ocupara su caja correspondiente, la ciencia habría terminado su labor.

Linneo lo clasificó casi todo: minerales, enfermedades, plantas y animales. En lo referente a los animales, realizó un audaz movimiento: incluyó en su esquema a los seres humanos. De hecho, fue él quien nos dio el nombre biológico que aún conservamos: *Homo sapiens*, que literalmente significa «hombre sabio». Muchos naturalistas antes que él se habían limitado a lo que en ocasiones se llama el «mundo natural», y en consecuencia habían excluido a los humanos de su esquema. Linneo, hijo de un clérigo, era un hombre hondamente religioso; sin embargo, tal y como señaló, no existía ninguna razón biológica para considerar que los seres humanos no eran simples animales, como los perros y los monos, y por ello debían incluirse en el sistema de la naturaleza.

En sus trabajos sobre taxonomía (el término científico para designar la clasificación), Linneo estableció dos categorías principales: el género y la especie. Utilizaba siempre mayúsculas para nombrar el género (cosa que se sigue haciendo) y minúsculas para la especie, como en *Homo sapiens.* El género era un grupo de plantas o animales que

compartía características más básicas que las especies. Por ejemplo, existen diversas especies de gato en el género *Felis*, incluidos nuestros gatos domésticos *(Felis catus)* y el gato salvaje *(Felis silvestris)*. (En aquella época, todo el mundo aprendía latín en la escuela, así que les resultaría sencillo entender las denominaciones: *felis* significa «gato»; *catus*, «astuto» y *silvestris*, «de los bosques».)

Linneo sabía que había diversos niveles de parecido o diferencia entre los seres vivos. En lo alto de su gran esquema colocó tres reinos: plantas, animales y minerales. Bajo éstos estaban las clases, como los vertebrados (animales con médula espinal, como burros, lagartos y demás); dentro de cada clase había órdenes, como la de los mamíferos (seres que maman en la infancia); un paso por debajo estaba el género, seguido por la especie. Aún después de la especie, venía la variedad. Dentro de la especie humana, estas variedades se denominaban razas. Por supuesto, existen individuos: una persona, una planta o un animal con sus características peculiares propias, como la altura, ser macho o hembra, el color del pelo o de los ojos, o el tono de voz. Pero los individuos no se clasifican en tanto que tales, sino que se agrupan de modo que puedan clasificarse. Científicos posteriores se dieron cuenta de la necesidad de incluir rangos extra al sistema original de Linneo, como familias, subfamilias y tribus. Los leones, los tigres y los gatos domésticos pertenecen ahora a la familia de los felinos.

La suma total de todas las plantas y los animales individuales conforma el mundo de los seres vivos, y a eso era a lo que se refería Buffon al insistir en que esta categoría básica (el individuo) era la única certeza.

El nivel crucial para Linneo era el de las especies. Diseñó

un sencillo sistema para identificar cada especie de planta, basado en las partes masculinas y femeninas de sus flores, que permitía a los botánicos recorrer los bosques e identificar lo que veían. Aunque sólo hacía referencia a las plantas, el sistema sexual de Linneo generó controversia entre algunas personas y también inspiró algunos poemas ligeramente eróticos. Pero por encima de todo, su clasificación de las plantas funcionaba y permitió un gran avance en el ámbito de la botánica. Tras la muerte de Linneo, un inglés adinerado compró sus valiosas colecciones de plantas y fundó la Sociedad Linneana de Londres que, después de más de doscientos años, permanece activa hoy en día.

Muchos de los nombres que Linneo introdujo para identificar plantas y animales siguen utilizándose en la actualidad. Uno de ellos era el orden de animales en el que se incluían los seres humanos: los primates, orden que también incluye a simios, monos, lémures y otros animales que comparten numerosas características con nosotros. Linneo no creía que una especie pudiera evolucionar y convertirse en otra, pues pensaba que Dios había creado específicamente cada especie particular de plantas y animales. Pero sí se dio cuenta de que el ser humano formaba parte de la naturaleza y que las reglas que nos permiten estudiar el mundo natural también podían usarse para entender la humanidad. Lo que queremos decir con exactitud al afirmar que este o ese grupo de plantas o animales es una especie biológica continúa desconcertando a los naturalistas, pero el marco teórico de Linneo sufrió un cambio sustancial un siglo después, a manos de otro naturalista que también amaba las plantas: Charles Darwin.

Retomaremos la historia en el capítulo 25.

Aires y gases

Aire es una palabra muy antigua. El término *gas* es mucho más reciente, de hace apenas unos cien años, y el paso del aire a los gases resultó crucial. Para los griegos de la Antigüedad, el aire era uno de los cuatro elementos fundamentales, tan sólo una «cosa», pero los experimentos de Robert Boyle en el siglo XVII habían puesto en entredicho este punto de vista, y los científicos se habían dado cuenta de que el aire que nos rodea y que todos respiramos está formado por más de una sustancia. A partir de entonces resultó más fácil entender lo que ocurría en los experimentos químicos. En muchos de ellos el resultado era que alguna sustancia hervía o se elevaba en una nube y luego se desvanecía en el aire. En ocasiones, el experimento parecía cambiar el aire: a menudo los químicos producían amoníaco, que les hacía llorar, o ácido sulfhídrico, que apestaba a huevos podridos. Pero al no poder recogerse los gases mediante algún sistema, resultaba difícil averiguar qué estaba ocurriendo. Isaac Newton había demostrado que las mediciones eran importantes, pero era difícil medir un gas si éste flotaba en la atmósfera.

Así pues, los científicos debían encontrar un modo de recoger gases puros. El método más sencillo era llevar a cabo el experimento en un espacio pequeño y cerrado, como una caja sellada, conectado mediante un tubo a un receptáculo vuelto del revés y lleno de agua. Si el gas no se disolvía en el agua –y hay gases que sí lo hacen–, podía borbotear hasta arriba y empujar el agua hacia abajo. Stephen Hales (1677-1761), un clérigo muy ingenioso, diseñó una «bañera de agua» muy efectiva para acumular gases. Durante la mayor parte de su larga vida, Hales fue el vicario de Teddington, en aquella época un pueblo rural y ahora absorbido por la ciudad de Londres. Se trataba de un hombre modesto y reservado, pero también extremadamente curioso y un experimentador incesante. Algunos de sus experimentos eran bastante desagradables: tomaba la presión sanguínea de caballos, ovejas y perros introduciendo directamente un tubo hueco en una arteria. El tubo estaba unido a un recipiente alargado de cristal, y lo único que él tenía que hacer era medir hasta dónde subía la sangre, lo cual le indicaba la presión sanguínea. Para los caballos, el recipiente de cristal tenía que medir 2,7 metros para que la sangre no se derramara por el borde.

Hales también estudió el movimiento de la savia en las plantas y midió el crecimiento de sus distintas partes. Pintaba pequeñas marcas con tinta a intervalos regulares en el tallo y las hojas, y luego anotaba la distancia entre las marcas antes y después de que la planta creciera. Así demostró que no todas las partes crecían al mismo ritmo. A continuación utilizó su aparato para recoger gases con el fin de observar la reacción de las plantas en distintas condiciones y vio que éstas utilizaban el aire, como se

denominaba todavía la atmósfera. (En 1721 su libro *Vegetable Staticks* estableció las bases para el posterior descubrimiento de la fotosíntesis, el sistema mediante el cual las plantas usan la luz del sol como fuente de energía, y son capaces de convertir el dióxido de carbono y el agua en glucosa y almidón, y «exhalar» oxígeno. Se trata de uno de los procesos más fundamentales que se dan en nuestro planeta. Pero nos estamos adelantando, y en esa época nadie conocía aún el oxígeno.)

¿Recuerdas el término *pneuma*, del capítulo 6? *Neumático* significa «relativo al aire», y la química neumática (la química de los aires) era uno de los principales ámbitos científicos en el siglo XVIII. (¿Te has dado cuenta de que usaban la palabra *aires* en plural?) La química neumática se convirtió en lo que era a partir de la década de 1730, no sólo porque la antigua noción de «aire» había dado paso a la idea mucho más dinámica de que éste estaba formado por distintas clases de gases, sino también porque los científicos estaban descubriendo que la mayoría de las sustancias pueden existir en forma de (o ser transformadas en) gases, bajo las condiciones adecuadas.

Stephen Hales había abierto el camino con su bañera de agua y su demostración de que, al igual que los animales, las plantas también necesitan el aire. Se pensaba que este «aire» era un gas liberado cuando algo se quemaba. Un médico y químico escocés, Joseph Black (1728-1799), recogió este «aire» (al que denominó «aire fijo») y demostró que mientras que las plantas podían vivir en él y usarlo, un animal metido en un contenedor lleno únicamente de él moriría, pues necesitaba algo más. El «aire fijo» de Black es lo que conocemos como dióxido de carbono (CO_2), y hoy en

día sabemos que constituye una parte esencial del ciclo de la vida de plantas y animales. (Se trata también de un «gas contaminante», una de las principales causas del «efecto invernadero» que provoca el calentamiento global.)

Henry Cavendish (1731-1810), un solitario aristócrata, pasó su vida en el laboratorio privado del que disponía en su casa de Londres, experimentando y tomando medidas. Descubrió más cosas sobre el aire fijo y consiguió aislar otro aire, uno muy ligero que explotaba si se le aplicaba una chispa en presencia de aire ordinario. Lo denominó «aire inflamable». Hoy en día lo conocemos como hidrógeno, y resultó que la explosión producía un líquido que era ni más menos que… ¡agua! Cavendish trabajó también con otros gases como el nitrógeno.

Nadie cosechó tantos éxitos en la investigación en química neumática como Joseph Priestley (1733-1804), un clérigo sin duda notable que escribió libros sobre religión, educación, política e historia de la electricidad. También se convirtió en unitario, miembro de un grupo protestante que creía que Jesús era sólo un gran maestro, no el Hijo de Dios. Seguía la corriente materialista, según la cual todas las cosas de la naturaleza podían explicarse a través de las reacciones de la materia, sin necesidad de «espíritu» o «alma». Al comienzo de la Revolución francesa, que él apoyó, su casa en Birmingham fue quemada por gente que temía que la libertad religiosa y los puntos de vista sociales como los suyos extendieran la revolución más allá del canal. Priestley huyó a Estados Unidos, donde vivió los últimos diez años de su vida.

El clérigo era también un químico dedicado. Utilizó el aire fijo para elaborar agua con gas, así que la próxima vez

que tomes una bebida con burbujas piensa en él. Identificó varios gases nuevos y, como todos los químicos neumáticos, se preguntó qué ocurría cuando las cosas ardían. Sabía que el aire jugaba un papel en este proceso y también sabía que existía una clase de «aire» (un gas) que hacía arder las cosas con más fuerza que el aire «común» que nos rodea. Aisló este «aire» calentando una sustancia que hoy en día conocemos como óxido de mercurio y recogiendo el gas en una bañera de agua. Asimismo, demostró que los animales podían vivir en ese entorno, igual que las plantas lo hacían en el aire fijo. El nuevo «aire» de Priestley era una sustancia especial; de hecho, parecía ser el principio implicado en numerosas reacciones químicas, así como en la respiración y la combustión. Creía que podía ser el resultado de una sustancia denominada «flogisto», que contienen todas las cosas que pueden arder y que se libera en el proceso de combustión. Cuando el aire que las rodea se satura de flogisto, ya no pueden arder más.

Muchos químicos utilizaron la idea del flogisto para explicar lo que ocurre cuando las cosas arden y por qué algunos «aires» permiten que las cosas se quemen durante un tiempo en un espacio cerrado, pero luego parecen hacer que se apaguen. Si se quema un trozo de plomo, el producto (los restos) pesará más que el trozo original. Esto sugería que el flogisto (los científicos creían que el plomo lo contenía y que se liberaba al arder) debía tener un peso negativo, es decir, convertía las cosas que lo contenían en más ligeras que las que no lo contenían.

En la hipótesis de Priestley, el flogisto ocupaba el lugar de lo que nosotros llamamos oxígeno, ¡pero tenía propiedades totalmente opuestas! Para Priestley, cuando las

cosas ardían perdían flogisto y se volvían más ligeras, pero en la actualidad diríamos que se combinan con oxígeno y ahora sabemos que cuando esto ocurre se vuelven más pesadas. Al apagarse una llama en un contenedor cerrado, o si un ratón o un pájaro morían al cabo de un rato en una caja cerrada con aire común, Priestley aseguraba que se debía a que el aire estaba saturado de flogisto. Hoy en día sabemos que la razón es que el oxígeno se ha agotado. Todo ello nos recuerda que a pesar de realizar experimentos y mediciones muy meticulosas, es posible interpretar los resultados de muy diversas formas.

El hombre que le dio nombre al oxígeno sigue siendo conocido como el padre de la química moderna. Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) murió de forma violenta durante la Revolución francesa. Fue detenido, juzgado y guillotinado, no porque fuera químico, sino por ser un recaudador. En la Francia prerrevolucionaria, los hombres adinerados podían pagar una tasa al Estado para convertirse en recaudadores de impuestos y quedarse con lo que recaudaban. El sistema estaba podrido, pero no existe ninguna prueba de que Lavoisier abusara de él. De hecho, antes de la Revolución dedicó gran parte de su tiempo a realizar importantes investigaciones científicas y técnicas para el Estado, relacionadas con importantes cuestiones del ámbito industrial y agrícola. Sin embargo, era un aristócrata y los líderes revolucionarios le odiaban a él y a su clase, de modo que tuvo que pagar el precio.

Igual que Priestley, Cavendish y otros químicos neumáticos, Lavoisier era un experimentador entusiasta y contaba con la ayuda de su mujer, una figura relevante en el campo científico. Marie-Anne Pierette Paultze (1758-1836) se

casó con Lavoisier a la temprana edad de catorce años (él tenía veintiocho), y ambos trabajaban juntos en el laboratorio, donde realizaban experimentos, registraban los resultados y los anotaban. Además, la señora Lavoisier era una anfitriona encantadora, y su marido y ella solían reunir a hombres y mujeres instruidos con los que compartían los últimos avances en ciencia y tecnología. El suyo era un matrimonio feliz de verdaderos compañeros.

En su época de estudiante, a Lavoisier le apasionaba la ciencia; su inteligencia y su ambición científica quedaron claras desde pequeño. Igual que la mayoría de los estudiantes de Química de la época, se educó en el paradigma del flogisto, aunque puso de manifiesto diversos errores lógicos y experimentales del mismo. Lavoisier estaba decidido a disponer de los mejores aparatos a su disposición, de modo que su esposa y él diseñaron un nuevo equipo de laboratorio, siempre con el objetivo de mejorar la exactitud de los experimentos. Utilizaba balanzas muy precisas para pesar las sustancias. Tras realizar diversas clases de experimentos, se convenció de que cuando las cosas arden, el peso total de los restos se incrementa, y para ello tuvo que recoger y pesar los gases producto de la combustión.

Lavoisier también prosiguió la investigación del proceso de respiración tanto de los humanos como de otros animales. Estos experimentos le demostraron que la sustancia implicada tanto en la combustión como en la respiración era un único elemento real, y no una especie de sustancia como el flogisto. Un elemento que también parecía ser necesario para la formación de ácidos. Las reacciones químicas de los ácidos y los álcalis (estos últimos en ocasiones se denominan «bases») habían fascinado desde

siempre a los químicos. ¿Recuerdas la invención del papel tornasol por parte de Robert Boyle? Lavoisier continuó con esta línea de trabajo. De hecho, creía que el oxígeno (que significa «formador de ácido») era tan significativo para los ácidos que todos ellos lo contenían. Hoy en día sabemos que no es así (el ácido clorhídrico, uno de los ácidos más potentes, contiene hidrógeno y cloro, pero no oxígeno). Aun así, muchas de las cosas que Lavoisier afirmó acerca del oxígeno siguen siendo válidas en la actualidad. Sabemos que se trata de un elemento necesario para la combustión y para nuestra respiración, y que estos dos procesos en apariencia distintos tienen mucho en común. Los humanos utilizan el oxígeno para «quemar», o procesar, los azúcares y otros alimentos, de modo que nuestros cuerpos consigan la energía que necesitan para realizar nuestras actividades cotidianas.

Lavoisier y su mujer continuaron con sus experimentos químicos durante la década de 1780, y en 1789, justo en los albores de la Revolución francesa, Lavoisier publicó su libro más conocido, *Traité élémentaire de chimie*. Se trata del primer texto moderno sobre la materia, está lleno de información sobre experimentos y equipo, y contiene sus reflexiones sobre la naturaleza del elemento químico. Hoy en día denominamos «elemento» a una sustancia que no puede descomponerse en otras a través de experimentos químicos. Un compuesto es una mezcla de elementos que, mediante el experimento adecuado, puede descomponerse. Así, por ejemplo, el agua sería un compuesto formado por dos elementos: hidrógeno y oxígeno. Esta distinción yacía en el centro del relevante libro de Lavoisier. Su lista de elementos, o «sustancias simples», no incluía todos los

elementos químicos que conocemos en la actualidad, puesto que muchos de ellos aún no se habían descubierto, aunque sí incluía cosas tan sorprendentes como la luz y el calor. Pese a todo, Lavoisier estableció el marco general para comprender la diferencia entre un elemento y un compuesto.

Tan importante como esta distinción era su convicción de que el lenguaje de la ciencia debía ser preciso. Lavoisier reformó el lenguaje de su materia con la ayuda de varios colegas, y demostró que para destacar en la ciencia había que ser preciso en el lenguaje. (Linneo habría estado de acuerdo.) Los químicos tenían que ser capaces de referirse a los compuestos y elementos con los que experimentaban de forma que cualquier otro químico, en cualquier parte del mundo, supiera que estaban manejando exactamente las mismas cosas. «Sólo podemos pensar a través de las palabras», escribió. Tras su muerte, los químicos empezaron a compartir un lenguaje común.

Porciones diminutas de materia

Los átomos habían tenido siempre algo de mala fama. ¿Recuerdas que los antiguos griegos afirmaban que los átomos eran una parte del universo fortuita y sin objetivo? Entonces, ¿cómo es que para nosotros estar formados por átomos resulta tan natural?

El «átomo» moderno es el fruto de la inteligencia de un respetable cuáquero, John Dalton (1766-1844), el hijo de un tejedor que fue a una buena escuela cerca de su lugar de nacimiento, en el distrito de los Lagos en Inglaterra. No tardó en destacar en matemáticas y ciencias, y un famoso matemático ciego estimuló sus ambiciones científicas. Dalton se instaló en la cercana Mánchester, una próspera ciudad en rápido crecimiento durante los comienzos de la Revolución industrial, cuando la manufactura de bienes empezó a ser monopolizada por las fábricas. Allí trabajó como profesor y tutor privado, y fue la primera persona en hablar del daltonismo, afección denominada así por su propio apellido y que él sufría en primera persona. Si conoces a alguien daltónico, lo más probable es que sea un chico, puesto que las chicas raramente la padecen.

Dalton se sentía como en casa en la Sociedad Literaria y Filosófica de Mánchester, cuyos miembros se convirtieron en una especie de gran familia para este hombre tímido que nunca se casó. Se trataba de una de las numerosas sociedades similares que se fundaron a partir de finales del siglo XVIII en pueblos y ciudades de toda Europa y Norteamérica. Benjamin Franklin, el electricista, fue uno de los fundadores de la Sociedad Filosófica Americana en Filadelfia. Como ya hemos dicho con anterioridad, la filosofía natural es lo que ahora denominamos ciencia. El término «literaria» en el nombre de la sociedad de Manchester nos recuerda que la ciencia todavía no estaba separada de otras áreas de actividad intelectual; sus miembros se reunían para escuchar charlas sobre todo tipo de materias, desde las obras de Shakespeare hasta arqueología o química. La era de la especialización, en la que los químicos hablaban sobre todo con otros químicos o los físicos con otros físicos, aún estaba por llegar. Debía de ser emocionante abordar un espectro tan amplio de temas.

Dentro de la vida científica de Mánchester, Dalton se enfrentó al problema de la luz, y su trabajo fue adquiriendo importancia gradualmente tanto en Europa como en Norteamérica. Realizó importantes trabajos experimentales en química, pero su reputación, tanto en la época como hoy en día, se debe a la noción del átomo químico. Los primeros químicos habían demostrado que cuando los elementos químicos reaccionan entre sí lo hacen de una forma predecible. Cuando el hidrógeno «arde» en el aire común (formado en parte por oxígeno), el producto siempre es agua, y si se miden los resultados con precisión, resulta que las proporciones de los dos gases que se unen para formar el

agua son siempre las mismas. (No trates de hacerlo en casa, pues el hidrógeno es muy inflamable y puede explotar.) Era posible encontrar esta misma regularidad en otros experimentos químicos con gases, líquidos y sólidos. ¿Por qué?

En el siglo anterior, Lavoisier había afirmado que se debía a que los elementos eran la unidad básica de materia y no podían descomponerse en partes más pequeñas. Dalton denominó «átomo» a la unidad más pequeña de materia, e insistió en que los átomos de un elemento eran siempre iguales, aunque distintos de los átomos de otros elementos. En su opinión los átomos eran extremadamente pequeños, trozos sólidos de materia rodeados de calor. Este calor le permitía explicar por qué estos átomos, y los compuestos que formaban al unirse con otros, podían existir en diversos estados. Por ejemplo, los átomos de hidrógeno y oxígeno podían presentarse en forma de hielo sólido (cuando tenían poco calor), de agua líquida o de vapor de agua (cuando alcanzaban su temperatura máxima).

Dalton elaboró maquetas con pequeños recortes de cartón que representaban sus átomos, y los marcó con símbolos para ahorrar espacio (y tiempo) al escribir los nombres de los compuestos y sus reacciones (igual que si enviáramos un SMS en la actualidad). En un principio su sistema era demasiado incómodo para ser usado con facilidad, pero la idea era acertada, así que poco a poco los químicos decidieron utilizar iniciales como símbolos para los elementos (y por consiguiente para los átomos de Dalton). De este modo el hidrógeno se convirtió en H, el oxígeno, en O, y el carbono, en C. En ocasiones era necesario añadir otra letra para evitar confusiones; por ejemplo, cuando más

adelante se descubrió el helio, no podía denominarse H así que se convirtió en He.

La belleza de la teoría atómica de Dalton residía en que permitía a los químicos averiguar cosas sobre estos diminutos trozos de materia que en realidad nunca podrían ver. Si todos los átomos de un elemento son iguales, también deben pesar lo mismo, así que los químicos podían calcular cuánto pesaba uno en relación con otro. En un compuesto formado por distintas clases de átomos, podían medir qué parte de cada átomo se incluía en el compuesto a través de su peso relativo. (A Dalton le resultaba imposible calcular el peso de un átomo individual, así que los pesos atómicos se limitaban a una comparación con el peso de otros átomos.) En todos estos aspectos, Dalton estaba abriendo el camino, y no siempre acertaba. Por ejemplo, cuando el oxígeno y el hidrógeno se combinan para formar agua, él daba por hecho que se trataba de un átomo de cada elemento. Basándose en sus meticulosas pesadas, estableció que el peso atómico del hidrógeno era 1 (se trata del elemento conocido más ligero) y el del oxígeno, 7, de modo que la ratio de su peso era de 1 a 7, o 1:7. Siempre redondeaba sus pesos atómicos a números enteros y los pesos comparativos con los que trabajaba demuestran que estaba en lo cierto. En realidad, la ratio de peso del agua se acerca más a 1:8, y en la actualidad sabemos que en cada molécula de agua hay dos átomos de oxígeno, así que la ratio del peso atómico es 1:16, uno de hidrógeno por cada dieciséis de oxígeno. El hidrógeno ha conservado el peso mágico de 1 que le otorgó Dalton. No se trata sólo del átomo más ligero, sino también del más común en el universo.

La teoría atómica de Dalton daba sentido a las reacciones

químicas, al mostrar cómo los elementos o los átomos podían combinarse en proporciones diferentes. Eso es lo que hacen el hidrógeno y el oxígeno para formar el agua, el carbono y el hidrógeno para formar dióxido de carbono, y el nitrógeno y el oxígeno para formar el amoniaco. Esta regularidad y consistencia, así como las herramientas para medir cada vez más precisas, convirtieron la química en una ciencia de vanguardia a principios del siglo XIX, y fue la teoría atómica de Dalton la que le proporcionó sus bases.

Humphrey Davy (1778-1829) era una de las figuras centrales de esta nueva química. Mientras que Dalton era un hombre tranquilo, Davy era ostentoso y socialmente ambicioso. Igual que el primero, provenía de un entorno de clase trabajadora, y fue a una buena escuela local en Cornwall. También era afortunado. Fue aprendiz de un médico vecino de su familia que debía instruir a Davy para que se convirtiera en médico familiar. En lugar de eso, Davy utilizó los libros de su maestro para aprender química (e idiomas extranjeros) por su cuenta. Más adelante se trasladó a Bristol y se convirtió en ayudante en una institución médica especial que usaba diferentes gases para tratar a los pacientes. Durante su estancia allí, Davy experimentó con óxido nitroso, llamado «el gas de la risa» porque al respirarlo provoca ganas de reír. El libro de Davy sobre el gas, publicado en 1800, causó sensación, puesto que el óxido nitroso se había convertido en una «droga recreativa» y las fiestas en las que se consumía estaban muy de moda. Davy también señaló que, tras respirar el gas, uno no sentía el dolor, y sugirió que podría resultar útil en medicina. Los médicos tardaron cuarenta años en adoptar su sugerencia, y el gas se sigue usando en ocasiones como anestesia en

medicina y odontología.

La única ciudad que podía satisfacer las aspiraciones de Davy era Londres, donde le surgió la oportunidad de convertirse en profesor de Química en la Royal Institution, una organización que divulgaba la ciencia entre el público de clase media. Allí fue donde medró Davy, el hombre-espectáculo. Sus conferencias sobre química atraían a grandes multitudes, y la gente iba a menudo no sólo para aprender, sino también para divertirse. Tras convertirse en profesor de la institución, sus investigaciones florecieron, y junto con otros químicos descubrió un uso químico a la «pila» eléctrica de Volta. Lo que hizo fue disolver compuestos en líquidos para obtener soluciones y luego hizo que una corriente eléctrica pasara a través de ellos mediante la pila, para analizar lo que ocurría. Observó que, en muchas soluciones, los elementos y los compuestos se veían atraídos o bien hacia el polo negativo o bien al positivo de la pila. De este modo, Davy identificó diversos elementos nuevos: el sodio y el potasio, por ejemplo, que se acumulaban alrededor del polo negativo. El sodio forma parte del compuesto cloruro sódico, la sustancia que hace que el mar sea salado y con la que condimentamos la comida. Una vez descubiertos los nuevos elementos, Davy pudo experimentar con ellos y descubrir sus pesos atómicos relativos.

La pila de Volta, con sus polos negativo y positivo, también cambió la forma en que los científicos comprendían los átomos y los compuestos químicos. Las cosas cargadas positivamente se dirigían al polo negativo y viceversa, lo cual explicaba en parte por qué los elementos tenían tendencia a combinarse entre sí. El químico sueco Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) convirtió este hecho en el punto

central de su famosa teoría de la combinación química. La infancia de Berzelius fue difícil: sus padres murieron siendo él niño y se crió con varios familiares, pero al final se convirtió en uno de los químicos más influyentes de Europa. Mientras estudiaba para ser médico descubrió los placeres de la investigación química y consiguió trabajar como químico en la capital sueca, Estocolmo, donde residía. También viajaba mucho, sobre todo a Londres y París, lugares fascinantes para un químico.

Igual que Davy, Berzelius utilizó la pila voltaica para observar los compuestos en solución. Así descubrió diversos elementos nuevos y publicó listas en las que incluía sus pesos atómicos, calculados con más exactitud tras analizar cuidadosamente los pesos relativos de las sustancias, que combinaba para obtener nuevos compuestos, o bien descomponiendo los compuestos y calibrando con meticulosidad el producto. Su tabla química de 1818 incluía los pesos atómicos de cuarenta y cinco elementos, y la referencia seguía siendo el hidrógeno, con peso 1. También ofrecía la composición de cerca de dos mil compuestos. Fue Berzelius quien popularizó la convención de Dalton de identificar los elementos mediante su primera o dos primeras letras: C para el carbono, Ca para el calcio, etc., lo cual facilitó enormemente la lectura del lenguaje de las reacciones químicas. Si en el compuesto había más de un átomo de un elemento, lo indicaba colocando un número tras la letra, en el caso de Berzelius por encima, aunque hoy en día se pone por debajo: O_2 significa que hay dos átomos de oxígeno. Aparte de este matiz, Berzelius escribía las fórmulas químicas prácticamente igual que lo hacemos en la actualidad.

Berzelius manejaba mucho mejor los compuestos inorgánicos que los orgánicos. Estos últimos se corresponden con los que contienen carbono y se relacionan con los seres vivos, y un ejemplo serían los azúcares y las proteínas. Con frecuencia, los compuestos orgánicos son más complejos que los inorgánicos y tienden a reaccionar de forma bastante distinta que los ácidos, las sales y los minerales a los que Berzelius dedicaba la mayor parte de su tiempo. Berzelius creía que las reacciones que tienen lugar dentro de nuestros cuerpos (o en los de otros seres vivos, como los árboles o las vacas) no podían explicarse del mismo modo que las que ocurren en un laboratorio. En esa época, la química orgánica se estaba desarrollando en Francia y Alemania, y aunque Berzelius se desmarcó de estos químicos, en realidad contribuyó a sus investigaciones. Su primera aportación fue el término «proteína» para describir uno de los tipos más importantes de compuesto orgánico. En segundo lugar, se dio cuenta de que muchas reacciones químicas no se producen a menos que haya presente una tercera sustancia, a la que denominó «catalizador». Ésta contribuía a la reacción (a menudo acelerándola), pero no cambiaba mientras se desarrollaba, a diferencia de los otros elementos que se mezclaban o se descomponían en el proceso. Los catalizadores se encuentran en toda la naturaleza, y uno de los objetivos de los químicos desde la época de Berzelius ha sido intentar entender cómo funcionan.

En otros lugares de Europa, los átomos ayudaban a los químicos a entender su trabajo, aunque aún quedaban muchas incógnitas. En 1811, en Italia, el físico Amedeo Avogadro (1776-1856) realizó una audaz afirmación, tan

avanzada a su tiempo que los químicos la ignoraron durante más de cuarenta años. Lo que declaró fue que el número de partículas del mismo volumen de cualquier gas a temperatura estable es siempre idéntico. La «hipótesis de Avogadro», como terminó conociéndose, tuvo importantes consecuencias, pues implicaba que los pesos moleculares de los gases podían calcularse de forma directa, mediante una fórmula que él mismo proporcionó. Su idea, o hipótesis, también contribuyó a modificar la teoría atómica de Dalton, puesto que describía una curiosa característica del más estudiado de los gases, el vapor de agua. Durante mucho tiempo, los químicos se habían preguntado por qué el volumen del hidrógeno y el oxígeno en particular dentro del vapor de agua era incorrecto si se daba por hecho que para formar una partícula de agua se combinaba una molécula de uno y una de otro. Lo que descubrieron fue que por cada átomo de oxígeno en el vapor de agua había dos de hidrógeno. Como resultado, concluyeron que en la naturaleza existen numerosos gases, entre ellos el hidrógeno y el oxígeno, no en forma de átomos individuales sino como moléculas: dos o más átomos unidos, lo que hoy escribiríamos O_2 o H_2.

Si se daba por cierta la teoría atómica de Dalton y la idea de Berzelius de que los átomos de los elementos poseían características determinadas positivas o negativas, las hipótesis de Avogadro no parecían tener sentido. ¿Cómo podían unirse dos átomos negativos de oxígeno? Estos inconvenientes supusieron que el trabajo de Avogadro fuese ignorado durante mucho tiempo, aunque mucho después sirvió para explicar numerosos interrogantes en el ámbito de la química y terminó por convertirse en la base de nuestra

comprensión de los átomos. A menudo, la ciencia funciona de este modo: las piezas sólo terminan de encajar tras un largo periodo de tiempo, y entonces todo empieza a cobrar sentido.

Fuerzas, campos y magnetismo

El átomo de Dalton contribuyó al desarrollo de la química moderna, pero existían otros enfoques para analizarlo. Para empezar, los átomos pueden hacer muchas más cosas que combinarse entre sí para formar compuestos, y no se limitan a formar parte de las reacciones químicas. Tanto Davy como Berzelius habían usado con inteligencia el hecho de que, en una solución, los átomos pueden verse atraídos hacia el polo negativo o el positivo si se aplica una corriente eléctrica, de modo que también ellos formaban parte de la «electricidad». En una solución de agua marina, ¿por qué el sodio se desplaza hacia el polo negativo y el cloro, hacia el positivo?

Estas cuestiones se hallaban en el centro del debate a principios del siglo XIX. Uno de sus principales investigadores era Michael Faraday (1791-1867), un hombre bastante notable que nació en una familia corriente y recibió tan sólo una educación básica. Durante su juventud aprendió el arte de la encuadernación, pero al descubrir el mundo de la ciencia dedicó su tiempo libre a leer todo lo que podía sobre el tema. Fue un popular libro de química para niños el que disparó su imaginación, y un cliente del establecimiento de

encuadernación donde trabajaba le ofreció una entrada para una de las conferencias de Humphry Davy en la Royal Institution. Faraday acudió, le escuchó sin perder detalle y tomó minuciosas notas con su pulcra caligrafía. Con gran audacia, le mostró sus notas a Davy, que quedó gratamente sorprendido por su precisión, pero advirtió a Faraday que en la ciencia no había trabajo y que la encuadernación de libros era un oficio mejor para un hombre que necesitara ganarse la vida.

Sin embargo, poco después despidieron a un ayudante de la institución y Davy le ofreció el trabajo a Faraday, que permaneció allí el resto de su vida y contribuyó a convertirlo en un puesto provechoso de gran reputación. Sus primeros tiempos en la institución los dedicó a resolver problemas químicos para Davy. Faraday era brillante en el laboratorio, aunque no por ello dejó de estudiar problemas científicos más generales. También era un devoto miembro de un grupo concreto de protestantes; dedicaba muchas horas a las labores de su Iglesia y sus creencias religiosas guiaban sus investigaciones científicas. En pocas palabras, pensaba que Dios había creado el universo tal como era, pero que los seres humanos eran capaces de entender cómo encajaban todas las piezas.

Poco después de que Faraday ingresara en la Royal Institution, Davy y su reciente esposa se fueron de viaje por Europa y se llevaron a Faraday con ellos. La mujer de Davy, una aristócrata, lo trataba como si fuera un criado, pero el viaje de dieciocho meses le permitió a éste entrar en contacto con muchas de las principales personalidades científicas europeas de la época. Tras regresar a Londres, Faraday y Davy continuaron trabajando en numerosos

problemas prácticos: qué ocasionaba las explosiones en las minas, cómo podían mejorarse los fondos de cobre de los barcos o cuáles eran las propiedades ópticas del cristal. A medida que Davy se implicaba más en la política científica, Faraday se convirtió en su propio maestro y centró su atención en la relación entre electricidad y magnetismo.

En 1820 el físico danés Hans Christian Orested (1777-1851) había descubierto el electromagnetismo, la manipulación de la corriente eléctrica para crear un «campo» magnético. Hacía mucho tiempo que se estudiaba el magnetismo, y la brújula, con su aguja de hierro que señalaba siempre el norte, se ha convertido en un artefacto indispensable incluso en nuestros días. Los navegantes las usaban mucho antes de que Colón descubriera América, y los filósofos naturales habían debatido ampliamente por qué sólo unas pocas sustancias (como el hierro) podían magnetizarse, y la mayoría no. El hecho de que las brújulas señalaran siempre en la misma dirección significaba que la propia Tierra actuaba como un enorme imán.

El electromagnetismo de Orested generó una oleada de interés científico, y Faraday aceptó el desafío. En septiembre de 1821, llevó a cabo uno de los experimentos más conocidos de la historia de la ciencia. Mientras trabajaba con una pequeña aguja magnetizada, descubrió que ésta seguía dando vueltas si se rodeaba de cables que transportaban corriente eléctrica. Al fluir a través del alambre en espiral, la electricidad generaba un campo magnético hacia el que la aguja se veía continuamente atraída, y eso la hacía girar y girar. Ello se debía a lo que Faraday denominó «líneas de fuerza», y éste enseguida se dio cuenta de su relevancia. Lo que había hecho, por primera vez, era convertir la energía

eléctrica (electricidad) en energía mecánica (el movimiento o la fuerza de la aguja giratoria). Había inventado el principio de nuestros motores eléctricos, así como la posibilidad de convertir la electricidad en energía, como sucede en nuestras lavadoras, reproductores de CD o aspiradores.

Faraday siguió trabajando con la electricidad y el magnetismo durante los siguientes treinta años. Sin duda se trataba de uno de los experimentadores más talentosos que hayan existido, cuidadoso al planear su trabajo y meticuloso al realizarlo. Su educación autodidacta no incluía las matemáticas, así que sus trabajos científicos se parecen mucho a sus notas de laboratorio: descripciones detalladas de su equipo, de lo que hacía y de lo que observaba. Su trabajo también contribuyó a que los científicos entendieran el papel de las cargas eléctricas en las reacciones químicas. A principios de la década de 1830, había añadido el generador y el transformador eléctricos a sus inventos. El primero se conseguía haciendo entrar y salir un imán de un alambre en espiral, lo cual generaba una corriente eléctrica. Para fabricar el transformador, hizo pasar corriente eléctrica por un cable enrollado alrededor de un anillo de hierro, lo cual generaba una breve corriente eléctrica en otro cable enrollado alrededor del lado opuesto del anillo. Faraday era consciente de que estos experimentos eran rudimentarios, pero también sabía que tenía entre manos algo importante. La relación entre electricidad y magnetismo, y la conversión de energía eléctrica en energía mecánica es lo que abrió literalmente la puerta a nuestro mundo moderno.

Faraday mantuvo el interés en la ciencia en su sentido más amplio y dedicó gran parte de su tiempo a los comités científicos y a la organización de la Royal Institution. Fue él

quien instauró las conferencias de Navidad del instituto, que siguen gozando de gran popularidad. Pero sus grandes pasiones siguieron siendo la electricidad y el magnetismo, y su fascinación nos dejó un nuevo vocabulario y muchas aplicaciones prácticas. También se permitía hacer bromas sobre sus inventos. Se dice que cuando un político le preguntó por las posibilidades prácticas de la electricidad, le contestó: «Por supuesto, señor; ¡con toda probabilidad en breve podrá aplicar impuestos sobre ella!».

Al otro lado del Atlántico, el gran interés en la electricidad y el magnetismo dio como resultado otro hallazgo que también cambiaría el mundo: el telégrafo eléctrico. El envío de señales a través de cables eléctricos había empezado a principios del siglo XIX, pero fue el estadounidense Samuel Morse (1792-1872) quien desarrolló el primer telégrafo de larga distancia. En 1844 envió un mensaje a lo largo de sesenta kilómetros (utilizando el código Morse que lleva su nombre): de Washington D.C. a Baltimore. La comunicación telegráfica no tardó en extenderse por todo el mundo, y los británicos la usaron para conectar los diferentes puntos de su vasto imperio. Ahora las personas podían comunicarse entre sí con rapidez, y las noticias podían divulgarse poco después de ocurrir.

Faraday propuso la noción de «campo» de acción para justificar las sorprendentes propiedades de la electricidad y el magnetismo. El concepto de campo (área de influencia) ya había sido utilizado con anterioridad por los científicos para explicar los misterios de las reacciones químicas, la electricidad, el magnetismo, la luz y la gravedad. Creían que todas estas cosas tenían lugar dentro de un espacio o campo particular, del mismo modo que los diversos deportes se

juegan en un campo específico. Faraday convirtió esta idea en el centro de su teoría de la electricidad y el magnetismo, y argumentó que era más importante medir el área de actividad que preocuparse por lo que la electricidad, la luz o el magnetismo eran en realidad. La fuerza de un campo eléctrico podía calcularse a través de un experimento.

Faraday no creía que algo como la gravedad pudiera ejercer su influencia en el vacío, y resolvió el problema estableciendo que el vacío absoluto no existía. Según él, el espacio estaba más bien lleno de una sustancia refinada llamada «éter» (nada que ver con el gas anestésico) que permitía a físicos y químicos explicar muchas cosas a través de su influencia directa. Así, los «campos» de Faraday alrededor de las corrientes eléctricas o los imanes podían ser el resultado de que estos últimos estimularan la materia refinada que constituía el éter. La gravedad también tenía una explicación más sencilla gracias a esta teoría; de otro modo, se parecía demasiado a una fuerza oculta similar a los poderes mágicos de los antiguos alquimistas, algo en lo que no creían los científicos modernos como Faraday. El éter no podía verse ni sentirse, pero los físicos creían que explicaba el resultado de sus experimentos. En Gran Bretaña, el concepto se utilizó hasta principios del siglo XX, cuando los experimentos demostraron que en realidad no existía.

Gran parte del trabajo de Faraday sobre la fuerza demostró ser más útil. Los físicos posteriores lo ampliaron y proporcionaron mejores descripciones matemáticas de la electricidad, el magnetismo y muchos otros fenómenos que el mundo físico revela al ser explorado. Faraday fue el último gran físico que no utilizó las matemáticas.

El hombre que realmente aseguró el legado de Faraday

fue James Clerk Maxwell (1831-1879), uno de los miembros de la nueva oleada de físicos matemáticos y que a menudo se sitúa a la altura de Newton y Einstein. Sin duda fue uno de los físicos más creativos de todos los tiempos. Nació en Edimburgo y se educó allí antes de ir a la Universidad de Cambridge. Regresó brevemente a Escocia para dar clases, pero en 1860 se marchó al King's College de Londres, donde pasó algunos de sus años más productivos. Aunque ya había descrito los anillos de Saturno, en Londres desarrolló una teoría del color y tomó la primera fotografía en color. También sentía interés por la electricidad y el magnetismo, y los relacionó con firmeza: después de él, los físicos pudieron utilizar las matemáticas para describir el electromagnetismo, pues Maxwell proporcionó las herramientas y las ecuaciones para describir la idea de Faraday de «campo». Sus ecuaciones demostraban que la fuerza electromagnética es una onda, lo cual constituye uno de los descubrimientos más importantes en el ámbito de la física. Esta onda viaja a la velocidad de la luz, y ahora sabemos que la luz y la energía del sol nos llegan en forma de ondas electromagnéticas. Además, Maxwell predijo todo el rango de ondas que conocemos en la actualidad: las ondas de radio que permiten las emisiones radiofónicas, las microondas de nuestros hornos, los ondas de luz ultravioleta e infrarrojas que quedan más allá del espectro del arcoíris, así como los rayos X y las ondas o rayos gamma. Hoy en día todas estas ondas forman parte de la vida cotidiana pero, cuando Maxwell las predijo, la mayor parte de estas formas de energía aún no se habían descubierto, así que no es de sorprender que hiciera falta algo de tiempo para apreciar su genio. Su *Treatise on Electricity and Magnetism* (1873) probablemente sea el libro

de física más importante entre los *Principia* de Newton y las obras del siglo XX.

En la época en que lo escribió, Maxwell había ido a Cambridge a organizar el laboratorio Cavendish, donde en las décadas siguientes se realizarían numerosas investigaciones en física. Maxwell murió joven, a los cuarenta y cinco años, pero no antes de haber realizado descubrimientos fundamentales acerca del comportamiento de los gases, mediante la técnica matemática de la estadística. Esto le permitió describir cómo el gran número de átomos presentes en un gas, que se mueven cada uno a velocidades y en direcciones levemente distintas, provocarían los efectos que producen sometidos a diferentes temperaturas y presiones. También proporcionó las herramientas matemáticas necesarias para explicar las observaciones que habían realizado Robert Boyle y Robert Hooke muchos años atrás. Asimismo, desarrolló el concepto fundamental de los «mecanismos de retroalimentación», procesos que se suceden en forma de bucle y que él denominó «gobernadores». Estos mecanismos tienen gran importancia en tecnología, en el desarrollo de la inteligencia artificial en el siglo XX y en los ordenadores. Se trata de un proceso que también tiene lugar en nuestros propios cuerpos; por ejemplo, cuando nos calentamos demasiado, el cuerpo lo percibe y hace que sudemos, los cual nos enfría en la medida en que el sudor se evapora. Y si tenemos frío, temblamos, de modo que la contracción de nuestros músculos produce calor. Estos mecanismos de retroalimentación nos ayudan a mantener la temperatura corporal constante.

Maxwell disfrutaba de un discreto sentido del humor, era

hondamente religioso y estaba muy unido a su mujer, que mantenía un férreo control sobre él. Se dice que en las fiestas solía comentar: «James, estás empezando a pasártelo bien; es hora de irnos a casa». Por suerte, le dejaba disfrutar en el laboratorio.

Desenterrar dinosaurios

Cuando yo era niño, me costaba diferenciar los dinosaurios de los dragones. A menudo los dibujaban de forma parecida, con dientes enormes, poderosas mandíbulas, piel escamosa y ojos malvados, y en ocasiones se los veía atacando a otras criaturas. Sin duda, se trataba de dos clases de seres que era mejor evitar.

Sin embargo, hay una diferencia significativa entre los dinosaurios y los dragones. Estos últimos aparecen en los mitos griegos, las leyendas del rey Arturo, los desfiles del Año Nuevo chino y en muchos cuentos tradicionales. Pero aunque su poder es tan grande que siguen saliendo en los relatos que se escriben hoy en día, siempre han sido un producto de la imaginación humana. Los dragones no existen.

Por el contrario, los dinosaurios sí existieron. Vivieron en nuestro planeta durante mucho tiempo, aunque los seres humanos nunca los vieron. Hace doscientos millones de años estaban en su apogeo, y sabemos de su existencia debido a los huesos que se han preservado en forma de fósiles. El descubrimiento de esos huesos a principios del

siglo XIX constituyó un importante paso para la ciencia. Los geólogos en primer lugar y la gente común después empezaron a darse cuenta de que la Tierra tenía muchos más años de antigüedad de lo que habían supuesto.

El término «paleontología» se acuñó en Francia en 1822, para referirse al ámbito científico que estudiaba los fósiles. Éstos consisten en contornos de partes de animales y plantas que una vez estuvieron vivos pero que tras su muerte se han transformado lentamente en piedra, bajo las circunstancias adecuadas. Es posible admirarlos en muchos museos y es muy divertido recogerlos, aunque en la actualidad es más complicado puesto que los más fáciles de conseguir ya han sido recogidos para estudiarlos y exponerlos. Aun así, en algunos lugares como Lyma Regis, en la costa sur de Inglaterra, los acantilados siguen erosionándose debido a las olas del mar y a menudo salen a la luz nuevos fósiles.

La gente lleva miles de años encontrando fósiles. En su origen, la palabra *fósil* tan sólo significaba «algo desenterrado» y podía referirse tanto a monedas antiguas como a piezas de cerámica o a una bonita piedra de cuarzo. Pero muchos de estos objetos enterrados en la tierra tenían el aspecto de conchas, dientes o huesos de animales, así que el significado del término *fósil* fue derivando hacia un uso referido sólo a aquellas cosas que parecían pequeñas partes de animales. En ocasiones se hallaban conchas de animales marinos en la cima de las montañas, muy lejos del mar, y a menudo los huesos, los dientes y las conchas petrificados no se parecían a los de ningún animal conocido. A comienzos del siglo XVII, los naturalistas empezaron a plantearse preguntas acerca de sus hallazgos y establecieron tres posibles explicaciones. Había quien creía que estas formas se

habían producido debido a una fuerza especial inherente a la naturaleza, que había intentado sin éxito crear nuevas clases de organismos. Se trataba de seres parecidos a los animales y las plantas vivos, pero que no habían logrado sobrevivir. Otros argumentaban que en realidad los fósiles eran restos de animales y plantas que aún no se habían descubierto. Había áreas tan extensas de la Tierra que todavía no se habían explorado, que esas criaturas acabarían por encontrarse en partes remotas del mundo, o en los océanos. Un tercer grupo de estudiosos se atrevieron a sugerir que estos organismos eran criaturas que en una época habían vivido pero ahora estaban extinguidas. Si eso era cierto, la Tierra debía tener muchos más años de antigüedad de lo que la mayoría de la gente creía.

La palabra «fósil» no adquirió su significado actual hasta el siglo XVIII: restos petrificados de una planta o animal que había estado vivo. Las consecuencias de lo que eso significaba empezaron a impregnar el pensamiento científico. El científico que convenció al mundo de que algunos animales se habían extinguido fue el francés Georges Cuvier (1769-1832), especialmente dotado para la anatomía, sobre todo a la hora de comparar la de distintos animales. Sentía un interés particular por los peces, pero también atesoraba un vasto conocimiento sobre todo el reino animal. Diseccionó cientos de animales y luego comparó las distintas partes de sus cuerpos y analizó las funciones que realizaba cada uno de sus órganos. Según su apreciación, los animales eran máquinas vivas y cada una de cuyas partes tenía un propósito concreto. Asimismo, se dio cuenta de que todo lo que había dentro del cuerpo de los animales funcionaba a la par. Por ejemplo, los animales que

comían carne tenían caninos (dientes afilados), lo que les permitía desgarrar la carne de sus presas, así como el sistema digestivo, los músculos y otras características adecuados para cazar y vivir de la carne. Por su parte, los que pastaban hierba, como las vacas y las ovejas, tenían dientes con el borde plano, lo que les ayudaba a moler las plantas y el heno, y su estructura muscular y sus huesos servían para estar de pie y no para correr y saltar.

La convicción de Cuvier de que los animales están tan perfectamente creados que todo el conjunto encaja con total armonía le permitía decir muchas cosas sobre la estructura y el modo de vida de los animales mirando tan sólo una parte de éstos. Según él, si tienes un diente canino, has encontrado a un carnívoro, y lo que hizo fue aplicar estos mismos principios a los fósiles. Con la ayuda de otro anatomista emprendió una concienzuda investigación de los fósiles encontrados en los alrededores de París y ambos descubrieron que a menudo guardaban parecido con partes de animales vivos que aún podían encontrarse en la zona, aunque en muchos casos los dientes y los huesos presentaban pequeñas pero significativas diferencias. Por esa época, se descubrieron por casualidad los restos congelados de un gran elefante en Siberia. Cuvier examinó este «mamut lanudo», tal como se denominó, y concluyó que no sólo no se parecía a ningún elefante vivo conocido, sino que además un animal de aquel tamaño sin duda se habría detectado en caso de seguir viviendo en alguna parte. Así pues, lo que tenía que haber pasado era que se había extinguido.

Tras aceptar la idea de que algunas especies de animales (y plantas) se habían extinguido, a los naturalistas les resultó

mucho más sencillo interpretar el gran número de fósiles que se estaba descubriendo. Los hallazgos realizados en Inglaterra por dos excéntricos personajes contribuyeron a establecer la noción de un mundo prehistórico. El primero era Mary Anning (1799-1847), hija de un humilde carpintero que vivía en Lyme Regis, la región del sur de Inglaterra que seguía sufriendo la erosión del mar. Se trataba de un lugar perfecto para que Mary buscara fósiles, cosa que hacía ya desde pequeña para vender las mejores piezas a científicos y coleccionistas. Mary y su hermano Joseph se aprovecharon de sus conocimientos de la zona para establecer un negocio de colección y venta de fósiles. En 1811 encontraron el cráneo y luego muchos otros huesos de una extraña criatura. Su envergadura estimada era de cinco metros y no se parecía a nada que se hubiera encontrado antes. Se exhibió en Oxford y no tardó en ser bautizado como *Ichthyosaurus*, que significa literalmente «pez-lagarto», debido a que tenía aletas y podía nadar en el agua. Mary encontró otra serie de espectaculares fósiles, incluido uno que guardaba cierto parecido con una tortuga gigante pero que no presentaba signos de haber tenido nunca un caparazón. Recibió el nombre de *Pleiosaurus*, que significa «casi un reptil». Estos hallazgos le proporcionaron fama y algo de dinero, pero a medida que se generalizó la búsqueda de fósiles, Mary se encontró una importante competencia y empezó a tener problemas para mantenerse a ella y a su familia mediante su negocio.

Mary Anning tenía escasa educación y perdió el control de sus fósiles una vez los hubo vendido. Gideon Mantell (1790-1852) se enfrentó a problemas de otra índole. Era médico de cabecera en Lewes, en Sussex (también en el sur

de Inglaterra), y tenía acceso a muchos fósiles en las cercanas canteras de piedra caliza. Como médico, tenía conocimientos de anatomía y era capaz de interpretar los fósiles, pero se veía obligado a encajar esta tarea entre sus muchas horas de trabajo en la consulta y el cuidado de su familia. Convirtió su casa en una especie de museo de fósiles, cosa que no agradó demasiado a su mujer. El proceso de viajar a Londres para presentar sus descubrimientos a los científicos resultó ser un negocio lento y caro.

A pesar de estos problemas, Mantell no cejó en su empeño y fue recompensado con el hallazgo de diversas bestias exóticas. En la década de 1820, descubrió varios dientes con características nunca vistas hasta entonces. Su dueño recibió el nombre de *Iguanodon*, que significa «que tiene los dientes parecidos a una iguana» (una especie de lagarto tropical). Mantell también descubrió un dinosaurio acorazado, el *Hylaeosaurus*, que confirmó que algunas de estas criaturas gigantes caminaban por tierra. Asimismo, se desenterraron otros con rasgos de pájaros, y se concluyó que en este extraño mundo había criaturas que vivían en el mar, en la tierra y en el aire.

Cuando contemplamos las reconstrucciones de estas enormes y extraordinarias criaturas en los museos, resulta difícil entender las dificultades que afrontaron los primeros hombres y mujeres que los encontraron. Los huesos fosilizados a menudo estaban desperdigados y a los esqueletos les faltaban piezas. Disponían tan sólo de un número limitado de animales vivos o fosilizados para comparar los hallazgos y no tenían a su alcance las técnicas modernas para datar sus descubrimientos. El único modo de establecer el tamaño de lo que encontraban era comparar los

huesos que habían descubierto (el hueso del muslo, por ejemplo) con grandes animales vivos, como los elefantes o los rinocerontes. Las dimensiones estimadas resultaban asombrosas. Se valieron del principio de Cuvier para reconstruir esqueletos completos a partir de las partes y establecer de qué se alimentaba el animal, cómo se movía y si había vivido en tierra, en el agua, en el aire o en una combinación de varias. A medida que se descubrieron más dinosaurios y se realizaron nuevos avances en el conocimiento de la historia de la vida en la Tierra, muchas de sus ideas tuvieron que ser revisadas, pero sus hallazgos cambiaron para siempre el modo en que pensamos el mundo que habitamos.

Los «cazadores de dinosaurios» hicieron que el gran público se diera cuenta de que la Tierra era muy antigua, y que antes de que aparecieran los humanos habían existido otras criaturas complejas. Este mundo del pasado cautivó su imaginación y en muchas publicaciones aparecieron fantasiosas ilustraciones. Escritores como Charles Dickens podían hacer referencia a estos reptiles gigantes en la certeza de que sus lectores sabrían de qué hablaban. La primera vez que se utilizó el término *dinosaurio* fue en 1842, y su significado aproximado es «lagarto terriblemente grande». Los hallazgos de nuevas clases de dinosaurios se sucedieron no sólo en Inglaterra, sino en todas partes, y no tardaron en integrarse a la historia general de la vida en la Tierra. El periodo en el que habían vivido se calculó de forma aproximada a partir de la edad de las rocas en los que se encontraban.

Richard Owen (1804-1892), el hombre que les dio el nombre de «dinosaurios», aprovechó su propio trabajo con

estas criaturas para impulsar su carrera científica. Su figura está detrás del edificio que hoy en día es el Museo de Historia Natural de Londres, un museo maravilloso en el que los dinosaurios siguen teniendo un papel predominante. Muchos de los ejemplares que se exponen son especímenes originales encontrados por gente como Mary Anning.

En 1851 Londres acogió la primera de una serie de ferias mundiales que recibieron el nombre de exposiciones universales, y que reunían muestras de ciencia, tecnología, arte, transporte y cultura de todo el mundo. La exposición se albergaba en un edificio de una audacia increíble: el Palacio de Cristal, una enorme casa de cristal ubicada en el centro de Hyde Park, en pleno corazón de Londres. Tenía treinta y tres metros de alto, ciento veinticuatro de ancho y quinientos sesenta y tres de largo. Nadie creía que se pudiera construir un edificio tan grande de cristal y acero, pero Joseph Paxton lo hizo. Paxton era un jardinero y constructor con experiencia en la construcción de grandes invernaderos para los caballeros victorianos. La exposición no se parecía a nada que se hubiera visto antes, y seis millones de personas de todo el mundo acudieron a verla a lo largo de los seis meses que duró.

Tras clausurarla, el Palacio de Cristal fue desmontado y trasladado a Sydenham Park, en la esquina sur de Londres. Como parte del desarrollo de esta zona, se creó allí el primer parque temático del mundo, dedicado a los dinosaurios y otras criaturas del mundo prehistórico. Se construyeron réplicas gigantes del *Iguanodon,* del *Ichthyosaurus*, el *Megalosaurus* y otras bestias, y se colocaron alrededor de un lago de factura humana. El *Iguanodon* era tan grande que la noche de Fin de Año de 1853 veinticuatro invitados cenaron

en el molde utilizado para hacer su enorme cuerpo. En la actualidad la zona sigue conociéndose como el Palacio de Cristal, aunque el enorme edificio de cristal ardió en un terrible incendio en 1936. Algunas de las reconstrucciones de dinosaurios no tienen muy buen aspecto, pero sobrevivieron al fuego y, a pesar de su aspecto destartalado y gastado, siguen constituyendo un magnífico recordatorio del pasado.

Hoy en día sabemos mucho más acerca de la era de los dinosaurios. Se han encontrado muchas otras clases y podemos datarlos con mucha más precisión que Mantell u Owen. En ocasiones se dice que desparecieron con gran rapidez (el tiempo geológico es muy lento, tal como veremos en el siguiente capítulo), lo que significa que los dinosaurios se extinguieron, probablemente como resultado de cambios climáticos, tras el impacto de un enorme asteroide en la Tierra, hace unos sesenta y cinco millones de años. Pero no todos desaparecieron; algunos de los más pequeños sobrevivieron y evolucionaron, y todos podemos ver a sus descendientes en nuestros jardines cada día. Se llaman pájaros.

La historia de nuestro planeta

El hallazgo de huesos de antiguas bestias constituye sólo una parte de la historia. Al pasear por el campo, es posible que te hayas dado cuenta de que a menudo por el centro de los valles corre un río o un arroyo, y que están rodeados por montañas o colinas. En algunas partes del mundo, como por ejemplo Suiza, llama la atención lo altas que son las montañas y lo profundos que son los valles.

¿Cómo se formaron los rasgos distintivos de la Tierra? No es posible que los valles y las montañas hayan sido siempre como ahora, puesto que cada año el paisaje cambia debido a terremotos, erupciones volcánicas, ríos y glaciares. El cambio de año en año es muy leve, pero incluso en el transcurso de una vida es posible percibir las diferencias. La línea de la costa se erosiona y en ocasiones las casas caen al agua. Si multiplicas eso por varias o muchas generaciones, los cambios serán más relevantes.

Los terremotos violentos, los volcanes y los *tsunamis* no son nada nuevo. El Vesubio, cerca de Nápoles, entró en erupción en el año 79 y enterró la población que se hallaba a sus pies, Pompeya, matando a muchas personas. Las cenizas

y la lava volcánica cambiaron de forma dramática el perfil de la costa. Hoy en día se puede pasear por las calles de Pompeya, que han sido desenterradas de las cenizas y la roca volcánica que cubrieron la ciudad.

Mucha gente se preguntaba por el significado de estos dramáticos cambios, y había quien creía que se trataba de hechos sobrenaturales. Pero desde finales del siglo XVII, los observadores empezaron a estudiar la Tierra como objeto de la historia natural. La geología moderna nació al enfrentarse con tres problemas, el primero de los cuales fue una nueva concepción de la historia.

Con anterioridad, *historia* significaba en realidad «descripción». La historia natural era sencillamente una descripción de la Tierra y de las cosas que había en ella. Poco a poco, el término *historia* adquirió su significado moderno de cambio a través del tiempo. Hoy en día estamos acostumbrados a que las cosas cambien con rapidez: la ropa, la música, los peinados, la jerga y cualquier cosa relacionada con los ordenadores y los teléfonos móviles. Si vemos una fotografía de los años cincuenta nos damos cuenta de lo diferente que se ve a la gente de aquella época. No se trata de un fenómeno nuevo (los romanos, por ejemplo, vestían de forma distinta a los griegos), pero el ritmo del cambio es ahora mucho más rápido. Así pues, nosotros aceptamos el cambio como algo natural, y la historia consiste en el estudio de ese cambio.

El segundo problema que se encontraron los geólogos fue el del tiempo. Aristóteles suponía que la Tierra era eterna, y en la época en que él vivió su apreciación se acercaba bastante a la realidad. Los antiguos científicos chinos e indios también creían que la Tierra era muy

antigua. Con la irrupción de las concepciones cristiana e islámica, el tiempo se contrajo. «El tiempo que podemos comprender sólo es cinco días más viejo que nosotros», afirmó el escritor sir Thomas Browne en 1642. Se refería a que en el Génesis se cuenta la historia de la Creación, en la que Dios creó a Adán y Eva al sexto día. Durante los cinco días previos, se crearon la Tierra, el cielo, las estrellas, el sol, la luna y todas las plantas y animales. Para los cristianos como Browne, nuestro planeta, la Tierra, se creó muy poco antes de que Adán y Eva vieran el primer amanecer en el Jardín del Edén.

Si se lee la Biblia detenidamente, y se suman las edades de los descendientes de Adán y Eva mencionados en el Antiguo Testamento, se obtiene una fecha aproximada para ubicar a la primera pareja. A mediados de la primera década del siglo XVII, un arzobispo irlandés hizo justo eso y, según sus cálculos, afirmó que la Tierra fue creada el 22 de octubre de 4004 a.C., ¡a primera hora de la tarde para ser precisos! En la década de 1650, muchos cristianos no aceptaron los cálculos del arzobispo Ussher, pero para la gente que quería saber cómo se habían formado las características de la Tierra resultaba difícil explicar la formación de, por ejemplo, los valles fluviales si la Tierra tenía menos de seis mil años.

Este periodo limitado de tiempo también generaba dificultades para explicar los hallazgos de conchas en lo alto de las montañas, muy por encima de los actuales mares y océanos. Lo que necesitaban con urgencia los geólogos era proporcionar a la Tierra más tiempo de existencia, de modo que pudieran poner en alguna clase de perspectiva las cosas que observaban. Y así lo hicieron. Desde finales del siglo XVII, los naturalistas empezaron a afirmar que el mundo *tenía* que

ser más antiguo que los seis mil años que le atribuía Ussher. Varias décadas después, el conde de Buffon (el pionero de la historia natural que conocimos en el capítulo 19) diseñó un esquema que combinaba la cosmología y la geología. En su cosmología, la Tierra había sido en su origen una bola muy caliente que había salido despedida del Sol. Poco a poco se fue enfriando hasta el punto en que posibilitó la vida. Dio una fecha aproximada para la separación del Sol y la Tierra que se remontaba a ochenta mil años atrás, aunque utilizó con cuidado su preciso lenguaje para no ofender a la Iglesia.

El tercer problema residía en entender la naturaleza de las rocas y los minerales. No todas las rocas son iguales: algunas son duras, otras blandas y quebradizas, están formadas de diferentes tipos de materiales y también parecen tener antigüedades distintas. Tras poner nombre y analizar rocas y minerales, los geólogos que las estudiaban pudieron elaborar una imagen general de la historia de la Tierra. En Alemania, Abraham Werner (1749-1817) realizó gran parte de este trabajo preliminar. Aunque trabajaba en la universidad, estaba muy involucrado en la minería. Las minas excavadas a gran profundidad proporcionaban a los científicos muestras de materiales difíciles de conseguir en la superficie. Werner estableció su clasificación de rocas basándose no sólo en su composición, sino también en sus edades relativas. Las más antiguas eran muy duras y nunca contenían fósiles.

Además, las clases de rocas encontradas en un lugar determinado daban pistas sobre la antigüedad de ese sitio en relación con otros. Si se excavaba a más profundidad, donde las capas de roca y tierra (denominadas «estratos» por los geólogos) contenían fósiles, también se encontraban claves

respecto a la edad relativa de los fósiles y de los estratos en los que se hallaban. El hombre que demostró la importancia de los fósiles en este proceso de datación fue el topógrafo William Smith (1769-1839), que había contribuido a la construcción de los canales británicos a principios del siglo XIX. Antes de la aparición del ferrocarril, el agua era el mejor medio para el transporte de bienes, sobre todo los pesados, como el carbón. Smith realizó mediciones de grandes extensiones de tierra y ayudó a decidir cuál era la mejor ruta para un nuevo canal. A medida que creaba un mapa geológico de Inglaterra y Gales, se dio cuenta de que la característica más relevante de cada capa de la corteza de la Tierra no era sólo la clase de roca que contenía, sino también los fósiles que podían hallarse en ella.

Con una escala temporal ampliada de la historia de la Tierra, la distinción entre los distintos tipos de roca y la aportación de Smith sobre la importancia de los fósiles, los geólogos pudieron intentar «leer» la historia de la Tierra. A principios del siglo XIX, la mayoría de los geólogos eran «catastrofistas». Al reunir los informes recogidos a través de la minería, la construcción de canales y más adelante la del ferrocarril, encontraron muchos casos en los que volcanes y terremotos habían dejado al descubierto capas que con anterioridad habían permanecido enterradas en la profundidad de la corteza terrestre. Por ello, la mayoría de los naturalistas sostenía que en la historia de la Tierra se habían alternado periodos de estabilidad con otros violentos (con catástrofes) en todo el globo. Las inundaciones se incluían entre las catástrofes, así que al intentar cuadrar sus descubrimientos con la Biblia los naturalistas se congratularon por lo que parecían pruebas de inundaciones

masivas y generalizadas en el pasado, incluida una más reciente (en términos geológicos) que podía ser el diluvio universal en el que Noé llevó parejas de animales a su arca.

Los catastrofistas encontraron muchas pruebas que apoyaban sus planteamientos sobre la historia de la Tierra. Los fósiles encontrados en cualquiera de las diversas capas mostraban diferencias con los que había por encima o por debajo. Los fósiles de los estratos más recientes se parecían más a las plantas y los animales aún existentes que los de los estratos inferiores. En París, George Cuvier (a quien conocimos en el capítulo anterior) estaba utilizando la «anatomía comparada» y reproduciendo vívidas imágenes de los animales de otros tiempos. Uno de sus acólitos, William Buckland (1784-1856), un clérigo inglés liberal que enseñaba Teología en la Universidad de Oxford, mostraba un especial interés en encontrar pruebas geológicas del diluvio bíblico. Descubrió muchos objetos que desde su punto de vista estaban causados por la fuerza del agua: escombros arrastrados al interior de las cuevas y rocas, y peñascos enormes diseminados por los campos. En la década de 1820, estaba bastante seguro de que eran el resultado del diluvio de Noé; en la década de 1840, después de que las investigaciones geológicas hubieran revelado más detalles, su seguridad había disminuido, y se dio cuenta de que los glaciares (enormes ríos de hielo) podían haber afectado incluso a Gran Bretaña. Éstos proporcionaban una explicación más convincente a cosas como los peñascos desperdigados, que podían haber sido dejados atrás a medida que el río avanzaba lentamente.

En las décadas de 1820 y 1830, la mayoría de los geólogos creía que estas antiguas catástrofes coincidían con

nuevos estratos geológicos. Al observar que los fósiles de cada capa eran levemente distintos, concluyeron que la historia de la Tierra consistía en una serie de cataclismos –inundaciones masivas, violentos terremotos– seguidos por la aparición de nuevas plantas y animales que se adaptaban a las nuevas condiciones que se habían establecido. Por lo que parecía, la Tierra había experimentado un periodo de preparación progresiva hasta alcanzar su cúspide: la creación de la humanidad. Este esquema encajaba con el relato de la Creación del Génesis, ya fuera porque los seis días de la creación consistieran en realidad en seis largos periodos, ya fuera porque la Biblia sólo describía la última creación, la era de los seres humanos.

En 1830 Charles Lyell (1797-1875), un joven abogado reconvertido en geólogo, puso en duda la certeza generalizada. Lyell había observado rocas y fósiles en Francia e Italia, y estudiaba Geología en Oxford con el profesor William Buckland, el catastrofista. A Lyell no le convencían las teorías de su maestro y se preguntaba qué se podría demostrar si se diera por hecho que las fuerzas geológicas que operaban sobre la Tierra habían sido siempre uniformes (las mismas). Se convirtió en el líder de los «uniformitarianistas», cuyos planteamientos acabaron por oponerse a los de los catastrofistas. La intención de Lyell era averiguar hasta qué punto podía explicar la historia de la Tierra mediante su principio de uniformidad. Observó que en aquel momento la Tierra era muy activa a nivel geológico: seguía habiendo volcanes, inundaciones, erosión y terremotos. Si el índice de estos cambios era el mismo que tiempo atrás, ¿podía eso explicar las pruebas de los antiguos periodos de catástrofes violentas? Su respuesta fue

afirmativa, y expuso sus razones en una obra de tres volúmenes, *The Principles of Geology* (1830-1833), que revisaría a lo largo de los siguientes cuarenta años, incluyendo meticulosamente sus propios hallazgos y los de otros investigadores.

El uniformitarianismo de Lyell fue un osado intento de dejar atrás las catástrofes y la creencia en milagros como el diluvio universal. Su intención era liberar a los geólogos para que interpretaran la historia de la Tierra sin interferencias por parte de la Iglesia. Lyell era un hombre hondamente religioso que sostenía que el hombre era una criatura única y moral, con un lugar especial en el universo. También vio con más claridad que el resto que la idea catastrofista de una creación sucesiva de plantas y animales que cada vez se acercaban más a los que existían en ese momento se parecía mucho a la evolución. Mientras que los catastrofistas veían progreso al comparar los fósiles más profundos con los más superficiales, Lyell sostenía que los fósiles no revelaban un desarrollo global. El descubrimiento de un fósil de mamífero en un estrato antiguo, bastante enterrado, le llenó de entusiasmo. Por lo general los mamíferos se encontraban sólo en las capas superiores, así que esto le indicaba que en la historia de la fauna y la flora no existía un progreso real, con la excepción de los humanos. Si lo parecía, era sólo por casualidad. Tan sólo un pequeño número de las especies de los tiempos prehistóricos se había preservado en forma de fósiles.

Charles Lyell contribuyó al surgimiento de la geología moderna. Tanto su enfoque sobre la materia como su extenso trabajo de campo fueron excepcionales. Demostró que, si la historia de nuestra Tierra era lo bastante larga, se

podían explicar muchas cosas limitándose a observar lo que sucedía en el presente y utilizando los fenómenos o las fuerzas geológicas actuales para explicar el pasado. El joven naturalista Charles Darwin se quedó tan impresionado con sus *Principles of Geology* que se llevó el primer volumen (y pidió que le enviaran los otros dos) cuando emprendió sus viajes por el globo a bordo del *Beagle*. Darwin afirmaba que a lo largo de su viaje observó el mundo geológico (el mundo de los terremotos, las rocas y los fósiles) a través de los ojos de Lyell, aunque sus conclusiones acerca de lo que revelaban los fósiles fueron muy distintas.

El mayor espectáculo de la Tierra

Si das un paseo por el campo, te encontrarás rodeado de árboles, flores, mamíferos, pájaros e insectos propios de la zona del mundo donde vives. Si vas a un zoo, encontrarás plantas y animales exóticos de lugares muy lejanos. Si vas a un museo de historia natural verás fósiles, tal vez enormes esqueletos de dinosaurios de millones de años de antigüedad. La persona que nos explicó que todas estas especies vivas y fosilizadas en realidad estaban relacionadas fue un hombre tranquilo y modesto llamado Charles Darwin (1809-1882). Él solo cambió el modo en que pensamos en nosotros mismos.

Carlos Linneo (capítulo 19) dio nombre a plantas y animales con la idea de que las especies biológicas son fijas. En la actualidad seguimos nombrándolas según sus principios porque, aunque sabemos que en realidad cambian con el tiempo, lo hacen de un modo muy lento. Hablar de *especies* biológicas tiene su sentido, pero todas ellas sufren *variaciones*. Los hijos pueden ser distintos de sus padres: más altos quizá, con un color de pelo diferente o una nariz más grande. Las pequeñas moscas del vinagre que pululan

encima de la fruta podrida en verano también son distintas de sus padres, aunque es difícil apreciarlo debido a su tamaño. Las diferencias entre los cachorros de una camada de perros o de gatos son más fáciles de observar. De lo que Darwin se dio cuenta es de que las *variaciones* entre los padres y sus crías son muy importantes, las veamos o no. Aunque no siempre podamos apreciarlas, la naturaleza sí lo hace. El camino de Darwin hacia este descubrimiento vital estuvo lleno de aventuras y largas horas de reflexión.

El padre y el abuelo de Darwin fueron médicos de éxito. Su abuelo, Erasmus Darwin, elaboró una teoría sobre la evolución de las plantas y los animales, y escribió poemas sobre ciencia. Charles fue un niño feliz, aunque su madre murió cuando él tenía ocho años. Muy pronto descubrió su amor por la naturaleza y empezó a experimentar con su kit de química. En la escuela no destacaba por su rendimiento. Su padre lo envió a la Universidad de Edimburgo a estudiar Medicina, aunque él estaba mucho más interesado en la historia natural y la biología. Después de marearse al asistir a su primera intervención quirúrgica, supo que nunca se convertiría en médico. Darwin conservó siempre una sensibilidad muy acentuada hacia el sufrimiento.

Tras su fracaso en Edimburgo, fue a la Universidad de Cambridge a licenciarse en Humanidades, con la idea de convertirse en clérigo. Aprobó sus exámenes por los pelos, pero Cambridge acabó teniendo una importancia vital debido a la amistad que forjó con los profesores de Botánica y Geología, que le impulsaron a convertirse en naturalista. John Henslow le llevaba a recoger plantas a la campiña de Cambridge, mientras que Adam Sedgwick fue con él a Gales a estudiar las rocas y los fósiles de la zona. Después de este

viaje con Sedgwick, Darwin se licenció en la universidad y se encontró en un punto de inflexión, sin saber qué hacer a continuación. Una oferta inusual fue lo que le salvó: la propuesta de convertirse en el «caballero naturalista» en un viaje de reconocimiento a bordo del buque de Su Majestad, el *Beagle*, comandado por el capitán de la marina real Robert Fitzroy. Su padre se negó, pero su tío convenció a éste de que en realidad era una buena idea. La travesía en el *Beagle* fue la piedra fundacional de Charles Darwin.

Darwin pasó casi cinco años, desde diciembre de 1831 hasta octubre de 1836, lejos de casa, navegando por todo el mundo. Gran parte del tiempo sufrió mareos debido al mar, pero también pasó mucho tiempo en tierra, sobre todo en Suramérica. Era un excelente observador de todo tipo de fenómenos naturales: paisajes, la gente y sus costumbres, plantas, animales y fósiles. Recogió miles de ejemplares y los mandó a casa en barco cuidadosamente etiquetados. Hoy en día habría escrito un blog, pero en aquella época lo que hizo fue escribir un maravilloso diario, que publicó al llegar a casa. Su *Diario de investigaciones* (1839) se convirtió enseguida en un gran éxito popular y continúa siendo un relato clásico de una de las expediciones científicas más importantes que se hayan emprendido nunca. Hoy en día se conoce como *El viaje del Beagle*.

Las ideas de Darwin sobre la evolución se desarrollarían en el futuro, pero incluso en aquel momento reflexionaba acerca de los cambios producidos en la flora y la fauna a lo largo del tiempo. En su diario hablaba a los lectores de tres cosas especialmente importantes. En primer lugar, durante su estancia en Chile, experimentó –desde la seguridad del *Beagle*– un violento terremoto que elevó de forma dramática

el nivel del mar en la costa casi cuatro metros y medio. Darwin llevaba consigo su ejemplar de los *Principles of Geology* de Lyell y le impresionó mucho su idea de que los fenómenos violentos, como un terremoto, podían explicar el pasado. El terremoto de Chile convenció a Darwin de que Lyell tenía razón.

En segundo lugar, a Darwin le sorprendió la relación existente entre las especies vivas y los fósiles recientes de plantas y animales. En la costa este de Suramérica encontró grandes armadillos vivos y fósiles que eran muy similares; similares, pero claramente no de la misma especie. Encontró muchos otros ejemplos, y los añadió a los hallados por otros naturalistas.

El tercero y más conocido de sus descubrimientos tuvo lugar en las islas Galápagos, un archipiélago a cientos de kilómetros de la costa oeste de Suramérica. Allí había algunas plantas y animales increíbles, como tortugas gigantes o hermosos pájaros, muchos de los cuales eran exclusivos de una sola isla. Darwin visitó varias de ellas y recogió ejemplares con meticulosidad. Conoció a un anciano capaz de decir de qué isla provenía una tortuga, hasta tal punto era específico el aspecto de éstas. Pero fue sólo tras su regreso a Inglaterra cuando empezó a darse cuenta de la importancia de sus hallazgos. Un experto en aves examinó los pinzones recogidos en las distintas islas y descubrió que en realidad pertenecían a especies diferentes. Por lo que parecía, cada una de las islas Galápagos era una especie de mini laboratorio del cambio.

Tras abandonar Suramérica, el *Beagle* atravesó el Pacífico hasta Australia y luego pasó por debajo del extremo meridional de África, antes de regresar a Inglaterra tras una

nueva y breve parada en Suramérica. Al llegar a Inglaterra en 1836, Darwin se había convertido en un naturalista de primera categoría, muy alejado del joven nervioso que había partido cinco años atrás. Una vez en casa, se ganó una gran reputación científica gracias a los informes, las cartas y los ejemplares que había enviado.

Pasó los siguientes cinco años trabajando con las numerosas muestras que había recogido durante la expedición y escribiendo tres libros. También se casó con su prima Emma Wedgwood y se mudó a una casa grande en el campo, en Kent. Down House se convertiría en su hogar durante el resto de su vida, el lugar donde llevó a cabo sus trabajos más relevantes. Tuvo suerte de que le gustara quedarse en casa, puesto que sufría una misteriosa enfermedad y se encontraba mal a menudo. Cualquiera que fuera ésta –y seguimos sin saberlo–, Emma y él tuvieron nueve hijos. También escribió un flujo constante de libros y artículos, uno de los cuales se ha convertido en la obra más importante de la historia de la biología: *El origen de las especies*, publicado en 1859.

Años antes de su publicación, Darwin había empezado a tomar notas privadas sobre la «transmutación». Su primera libreta data de 1837, poco después de su regreso del viaje en el *Beagle*. En 1838 Darwin leyó el *Ensayo sobre el principio de la población* de Thomas Malthus, un clérigo interesado en descubrir el porqué de la gran cantidad de pobres que existía. Su teoría era que la gente pobre se casaba demasiado pronto y tenía más hijos de los que podía criar como era debido. Malthus afirmaba que todas las especies animales tenían más cachorros de los que podían sobrevivir. Los gatos pueden tener tres camadas al año, cada una de seis o más

cachorros. Un roble produce docenas de bellotas cada año, cada una de las cuales puede convertirse en un nuevo árbol. Las moscas pueden reproducirse a millones cada año. Si toda la descendencia de estas plantas o animales sobreviviera, y si eso también sucediera en las generaciones posteriores, el mundo no tardaría en verse invadido por gatos, robles o moscas.

Malthus creía que toda esta descendencia extra era esencial debido a la magnitud de las pérdidas. La naturaleza es dura; el mundo no es un lugar fácil. Al leer el ensayo de Malthus, Darwin se dio cuenta de que había descubierto la razón de que algunos ejemplares jóvenes sobrevivieran y otros no, y que también explicaría por qué las plantas y los animales cambian de forma muy gradual a lo largo de extensos periodos de tiempo. Aquellos que sobreviven deben tener alguna ventaja sobre sus hermanos, y ahí residiría «la supervivencia del más fuerte» o, como la llamaba Darwin, la *selección natural.* Darwin razonó que todos los descendientes heredan algunos atributos de sus padres, como la capacidad de correr rápido. Los descendientes con los atributos más útiles tenían más probabilidades de sobrevivir: podían correr un poco más rápido o tener espinas ligeramente más afiladas. De este modo, estos rasgos serían «seleccionados», en la medida en que los individuos menos capaces, que no contaban con ellos, no sobrevivirían el tiempo suficiente para tener su propia descendencia.

Darwin se dio cuenta de que en la naturaleza los cambios se sucedían con gran lentitud, pero argumentó que éstos podían producirse mucho más rápido si los seres humanos estaban a cargo del proceso y seleccionaban los atributos que deseaban en sus plantas y animales. A este proceso lo

denominó «selección artificial», y los humanos llevan miles de años practicándola. Darwin criaba palomas, e intercambiaba muchas cartas con otros apasionados de ellas, de modo que sabía lo rápido que podían cambiar las formas y el comportamiento de las palomas de exhibición si los criadores seleccionaban con meticulosidad ciertos ejemplares con ciertos rasgos para que tuvieran polluelos. Los granjeros llevaban mucho tiempo haciendo lo mismo con sus vacas, ovejas y cerdos, igual que los agricultores que querían mejorar sus cosechas o producir flores más bonitas. Resulta sencillo generar diversidad de animales si el criador selecciona los rasgos que prefiere.

Darwin percibió que la naturaleza actúa de una forma mucho más lenta pero, con el tiempo suficiente y las condiciones ambientales adecuadas, ocurre exactamente lo mismo. Lo que había descubierto en los pájaros y las tortugas de las islas Galápagos ilustraba el funcionamiento de la selección natural. Las condiciones locales (el suelo, los depredadores, el alimento disponible) diferían levemente de una isla a otra, así que las plantas y los animales se habían adaptado a las distintas circunstancias. Los picos de las varias clases de pinzones se habían «seleccionado» debido a los diferentes alimentos que podían encontrar: semillas, fruta o garrapatas que vivían en las tortugas. Como había observado Darwin, en algunos casos las diferencias eran lo bastante grandes para producir especies distintas, aunque todos los pinzones seguían estando estrechamente relacionados. El tiempo y el aislamiento habían permitido cambios significativos, y así habían aparecido nuevas especies.

Sin compartir sus ideas, Darwin leyó numerosos libros y

recogió muchas otras observaciones. En 1838 escribió un breve esbozo de su teoría, y una versión más larga en 1842, pero no la publicó. ¿Por qué? Quería asegurarse de que estaba en lo cierto. Sabía que tenía entre manos un punto de vista revolucionario acerca de los seres vivos y que otros científicos le criticarían sin piedad si sus afirmaciones no resultaban convincentes. En 1844 un editor y naturalista aficionado de Edimburgo llamado Robert Chambers publicó de forma anónima su propia versión del cambio en las especies. Su *Vestiges of the Natural History of Creation* causó sensación y la transmutación se convirtió en el tema de moda. Chambers había reunido un gran número de pruebas que sugerían que las especies vivas eran descendientes de otras previas. Sus ideas eran bastante vagas y no ofrecía ninguna teoría real de cómo se producía este proceso. Además, cometió muchos errores. Su libro se vendió muy bien, pero los principales científicos cayeron como buitres sobre él, las mismas personas a las que Darwin trataba de convencer. Así que éste esperó. Terminó algunas importantes publicaciones de su trabajo en el *Beagle* y abordó un tema insólito pero seguro: los percebes. Resultaba difícil diseccionar y examinar estas pequeñas criaturas marinas, pero Darwin insistía en que eso le proporcionaba valiosa información de un grupo de animales con un elevado número de especies vivas y fosilizadas, cada una adaptada de forma distinta a su modo de vida.

Después de los percebes, Darwin retomó por fin su gran obra. En 1858, mientras escribía un extenso libro al que pensaba llamar «Selección natural», el cartero le trajo noticias funestas: desde Asia le llegó una carta en que se pedía su opinión sobre un breve artículo. Se trataba de un

informe que explicaba cómo la selección natural podía conllevar cambios en las especies con el paso del tiempo. Darwin soltó un gemido. Su autor, Alfred Russel Wallace (1823-1913), parecía haber sintetizado el lento y doloroso camino de Darwin hasta llegar a la misma conclusión.

Darwin recibió la ayuda de sus amigos Charles Lyell y Joseph Hooker, que conocían sus teorías sobre las especies y organizaron una presentación conjunta de las ideas de Wallace y Darwin en la Sociedad Linneana de Londres. Nadie prestó mucha atención a lo que se dijo en esa reunión. Darwin estaba enfermo en casa y Wallace ni siquiera sabía de su existencia y se encontraba a trece mil kilómetros de distancia. Pero la carta de Wallace había convencido a Darwin de que debía darse prisa en escribir un resumen de sus ideas, en lugar del extenso libro en el que estaba trabajando. *El origen de las especies* se publicó el 24 de noviembre de 1859 con una tirada de mil doscientas cincuenta copias, que se vendieron en un solo día.

El meollo de la obra estaba formado por las dos principales ideas que defendía Darwin. La primera, que la selección natural *favorece la pervivencia de los atributos más útiles*, es decir, las características que contribuyen a que los individuos vivan y se reproduzcan. (La selección artificial demostraba que los humanos podían alterar de forma drástica las características de plantas y animales si así lo deseaban, lo cual ilustraba hasta qué punto éstos eran sensibles al cambio.) La segunda, que la selección natural, en un marco natural y a largo plazo, *producía cambios en las especies*, que *evolucionaban* lentamente a lo largo del tiempo. El resto del libro era una brillante demostración de lo adecuadas que resultaban estas ideas para explicar el mundo

natural. Darwin escribió acerca de la relación entre las especies vivas y sus ancestros fósiles, con los que mantenían una relación cercana. Describió la distribución geográfica de plantas y animales por todo el mundo. Dejó claro que el aislamiento geográfico (como ocurría en las islas Galápagos) proporcionaba las condiciones necesarias para el desarrollo de nuevas especies. Y puso el acento en las similitudes existentes entre los embriones de animales diferentes. *El origen* de Darwin hizo para la biología lo que los *Principia* de Newton habían hecho para la física: dar sentido a un amplio número de fenómenos del mundo natural.

El principal problema de Darwin era la herencia: por qué los descendientes podían parecerse a sus padres y al mismo tiempo ser levemente distintos de ellos y entre ellos. Estudió y reflexionó mucho sobre el tema, y apuntó varias explicaciones, pero sabía que su comprensión de la herencia (genética) era precaria, y así lo reconoció. También sabía que lo importante no era descubrir *cómo* funcionaba, sino que *existía*.

El origen de las especies causó un gran revuelo. La gente hablaba y escribía sobre el libro. Hubo quien lo alabó, mientras que otros lo criticaron. Darwin se limitó a seguir trabajando en él y publicó seis ediciones antes de su muerte. En ellas desarrolló sus ideas, en parte para responder a las críticas y en parte porque sus propias ideas seguían madurando. Al tiempo que actualizaba *El origen,* continuó escribiendo un sorprendente número de libros centrados en materias que despertaban su interés: las hermosas orquídeas, con sus flores que se adaptaban a los insectos que las polinizaban; las plantas que atrapaban y digerían insectos; las plantas trepadoras que podían aferrarse a un muro e

incluso las humildes lombrices. No cabe duda de por qué se le describía como «un hombre de infinita curiosidad»: nada parecía escapar a su interés.

El origen no trataba el tema de la evolución humana, aunque Darwin sabía que sus conclusiones también eran válidas para nuestra propia historia biológica. Para cualquier lector de la primera edición quedaba claro que Darwin creía en la evolución de la especie humana, pero tardó más de una década en afirmarlo sin tapujos en *El origen del hombre* (1871).

Darwin convirtió la evolución biológica en una teoría científica válida. Aunque algunos científicos no quedaron convencidos, la mayoría sí lo hizo, a pesar de que en ocasiones propusieran sus propias versiones sobre cómo y por qué ocurría. Muchos de los aspectos de la obra magna de Darwin han sido corregidos por trabajos científicos posteriores, lo cual demuestra que no se trataba de una teoría completamente perfecta. Pero tampoco tenía que serlo; así es como funciona la ciencia. Lo que está claro es que desde su estudio y su jardín en Down House, Darwin se aseguró de que nunca volviéramos a mirar del mismo modo la vida en la Tierra. La historia evolutiva de nuestro planeta es el mayor espectáculo de la Tierra.

Pequeñas cajas de vida

Hay cosas que simplemente no podemos ver ni oír. Muchas estrellas quedan mucho más allá del alcance de nuestra vista y no somos capaces de ver los átomos ni las diminutas criaturas que pululan en los charcos de lluvia. Tampoco podemos oír sonidos que los pájaros o los ratones sí que pueden. Pero aun así, podemos conocer cosas sobre ellos, planteando preguntas y utilizando instrumentos que nos permitan ver y oír mejor que sólo con nuestros ojos y oídos. Del mismo modo que los telescopios nos permiten ampliar el campo de visión en el espacio, los microscopios nos ayudan a ver las piezas que componen los seres vivos.

En el siglo XVII el pionero de la microbiología Antonie van Leeuwenhoek utilizó sus pequeños microscopios para examinar las células sanguíneas y los pelos de las patas de las moscas. Un siglo más tarde, gracias al desarrollo de los microscopios, los naturalistas tenían la posibilidad de observar estos pequeños detalles de la anatomía natural y la maravillosa diversidad de la vida en miniatura. Un microscopio «compuesto» podía ampliar las cosas aún más que uno sencillo. Se trata de un tubo con dos lentes, la

segunda de las cuales amplía la primera imagen, con el resultado de un doble aumento. Existía mucha gente respetable que no confiaba por completo en los microscopios. Los primeros microscopios compuestos producían distorsiones o espejismos de diversas clases, por ejemplo, extraños colores y líneas que en realidad no estaban allí. Al mismo tiempo, los métodos para cortar las cosas en rodajas muy finas de modo que pudieran examinarse eran muy rudimentarios, igual que la fijación de estas tiras a una lámina (un trozo fino de cristal). En consecuencia, muchos científicos creían que no valía la pena utilizar el microscopio.

Aun así, los médicos y los biólogos deseaban entender el funcionamiento del cuerpo hasta el mínimo detalle. El francés Xavier Bichat (1771-1802) empezó a investigar las distintas sustancias (lo que nosotros llamamos «tejidos», ya sean duros como el hueso, blandos como la grasa o líquidos como la sangre) que conformaban el cuerpo humano. Bichat se dio cuenta de que los tejidos del mismo tipo se comportaban de manera similar, sin importar en qué lugar del cuerpo humano se encontraran. Así, los músculos estaban formados por el mismo tipo de tejido tanto en las piernas como en los brazos, las manos o los pies. Todos los tendones (los órganos que unen el músculo con el hueso) eran parecidos en todo el cuerpo. El estudio de las células y los tejidos se conoce como «histología» y Bichat fue el padre de este campo científico. Aun así, formaba parte de aquellos que desconfiaban de los microscopios, así que sólo usaba una sencilla lente de aumento.

El trabajo de Bichat animó a otros a estudiar las plantas y los animales en relación a sus componentes más pequeños

y básicos. En las primeras décadas del siglo XIX varias ideas acerca de su naturaleza competían entre sí. A finales de la década de 1820 los problemas técnicos de los microscopios compuestos empezaron a resolverse, y a partir de entonces la gente que los utilizaba podía confiar en que lo que veía era una imagen precisa de lo que en realidad estaba allí.

En la década de 1830, los nuevos microscopios permitieron a dos científicos alemanes afirmar que los elementos cruciales de la vida eran las células y que todos los animales y plantas estaban formados de ellas. Uno de estos científicos eran un botánico llamado Schielden; el otro, el médico Theodor Schwann (1810-1882). Este último examinó el comportamiento de las células y su formación, y descubrió que en las células de plantas y animales tienen lugar actividades que permiten procesos como el movimiento, la digestión, la respiración y las sensaciones. Las células actúan en grupo, y constituyen la clave para entender cómo funcionan y viven los seres vivos.

Si te haces una herida, por ejemplo un corte, el tejido cutáneo crecerá para sanarla. Pero si los tejidos están hechos de células, ¿cómo se forman estas células nuevas? Schwann sentía un gran interés por la química, y argumentó que estas nuevas células cristalizaban a partir de una clase especial de líquido, del mismo modo que en un laboratorio se pueden conseguir cristales a partir de determinadas soluciones. Su intención era explicar el desarrollo de los embriones en un huevo o en el útero, y también se preguntó de dónde salían las células que aparecen si te haces un rasguño o una herida. Como médico, había observado que la zona que rodea la herida adquiría un color rojizo y podía llenarse de células de pus. Desde su punto de vista, estas últimas cristalizaban a

partir de un fluido acuoso que es el que produce la hinchazón. Se trataba de una atractiva teoría que combinaba la química y la biología, pero enseguida se demostró que era demasiado simple.

Con la mejora de los microscopios, aumentó el número de científicos que empezaron a observar lo que ocurría en las células. Uno de los más destacados fue Rudolf Virchow (1821-1902), un hombre con amplios intereses que se dedicaba sobre todo a la patología pero estaba muy implicado en la salud pública, la política, la antropología y la arqueología. (Intervino en las excavaciones de la ciudad de Troya, sobre la que Homero había escrito alrededor de 800 a.C.) A mediados del siglo XIX, Virchow empezó a pensar en las implicaciones de la teoría de las células en la medicina y el estudio de las enfermedades, lo que se conoce como «patología». Estaba de acuerdo con Schwann en que las células eran las unidades básicas de los cuerpos vivos, de modo que la comprensión de su intervención en la salud y su enfermedad constituiría la llave para una nueva clase de medicina, basada en la ciencia. Virchow expuso sus ideas en su importante obra *La patología celular* (1858), donde demostraba que las enfermedades que los médicos observaban en sus pacientes y que luego podían examinar en la sala de autopsias (al estudiar sus cadáveres) eran siempre el resultado de cosas que ocurrían en las células, entre ellas el cáncer (en el que estaba muy interesado), la inflamación con producción de pus e hinchazón y la cardiopatía. En sus clases de Patología siempre repetía a sus alumnos: «Aprendan a ver microscópicamente», es decir, desciendan al nivel de las células.

Virchow combinaba sus excelentes observaciones

microscópicas con el resumen de una verdad biológica de gran profundidad: «Todas las células vienen de células». Fue en este punto donde pasó por delante de Schwann. Lo que quería decir era que las células de pus de una tumefacción (producida después de cortarse o clavarse algo, por ejemplo) en realidad provenían de otras células, no se habían cristalizado a partir de un fluido corporal. Eso también significaba que el cáncer era el resultado de otras células que, en este caso, se comportaban de forma incorrecta y se dividían cuando no debían hacerlo. Todas las células que pueden observarse bajo un microscopio han sido producidas por otra célula ya existente (conocida como «célula madre») que se ha dividido en dos (las «células hijas»). En efecto, a medida que los científicos realizaban más observaciones, pudieron contemplar en ocasiones esta división celular en el momento en que se producía, y comprobaron que el interior de las células parecía cambiar en el proceso. Allí ocurría algo significativo.

Observaciones anteriores habían demostrado ya que la célula no es un simple saco lleno del mismo tipo de materia. En la década de 1830, el botánico inglés Robert Brown (1773-1858) había afirmado que en el centro de cada célula existe algo llamado «núcleo», más oscuro que la sustancia que lo rodea. Brown había examinado muchas células a través del microscopio y todas parecían tener su núcleo. Éste no tardó en ser aceptado como una parte de las células, y el resto del material contenido en ellas pasó a denominarse «protoplasma». El significado literal de esta palabra es «primer molde», debido a que en aquella época se consideraba que el protoplasma era la materia viva de las células, cuyas funciones daban vida a animales y plantas.

Con el tiempo, se descubrieron otras estructuras celulares aparte del núcleo y se les dio nombre.

Los científicos aceptaron enseguida el descubrimiento del núcleo y otras partes de las células. Otra cosa muy distinta sucedía con el antiguo debate acerca de la «generación espontánea», consistente en la aparición de toda clase de criaturas vivas diminutas en la carne en descomposición y en el agua encharcada. La gente sabía que si dejaba un trozo de carne sin proteger sobre una mesa, en un par de días encontrarían larvas en ella. No sabían que las moscas ponen huevos que se transforman en larvas, así que ¿cómo podían explicar de dónde provenían? Si examinas una gota de agua estancada a través de un microscopio, verás un enjambre de criaturas minúsculas. ¿Cómo han llegado allí?

Para los científicos del siglo XIX, la explicación más sencilla era que las había creado o se habían generado a partir del entorno nutritivo y a través de algún proceso químico. Se trataba de una opinión generalizada y parecía tener sentido. Puesto que al dejar la carne las larvas no estaban allí, ¿qué mejor manera de explicar su presencia que asumir que a medida que la carne se pudría producía estas criaturas bastante desagradables? Había poca gente que creyera que las cosas complejas (como los elefantes o los robles) se generaban de forma espontánea, pero las formas de vida pequeñas parecían aparecer sin una explicación obvia, a menos que fueran creadas de algún modo por su entorno. La teoría de Schawnn de que las células vivas se generaban a través de la cristalización de un fluido corporal concreto implicaba una especie de generación espontánea, en que las células vivas se formarían a partir de un material

sin vida.

Los naturalistas de los siglos XVII y XVIII creían haber demostrado que la generación espontánea no existía, pero el problema no desapareció y a finales de la década de 1850 provocó un acalorado debate entre dos científicos franceses. El ganador convenció a la comunidad científica de que la generación espontánea no existía, pero la historia no es tan sencilla, puesto que el ganador (que estaba en lo cierto) no jugó del todo limpio.

El primero de estos dos científicos franceses era el químico Louis Pasteur (1822-1895), que a mediados del siglo XIX había empezado a sospechar que las células podían hacer cosas bastante extraordinarias. Estaba acostumbrado a investigar las propiedades químicas de diversos componentes y también estaba familiarizado con la fermentación, el proceso en el que se mezclan las uvas con levadura para obtener vino, o la harina con levadura para que el pan se hinche. Antes de Pasteur, se creía que la fermentación era una especie particular de reacción química en la que la levadura actuaba como un simple catalizador, una sustancia que acelera el proceso pero no sufre cambios durante la reacción. Por el contrario, Pasteur demostró que se trataba de un proceso biológico provocado por la levadura en tanto materia viva, alimentándose de los azúcares de la uva y la harina. Las células de la levadura se dividían para producir más células, y durante el proceso generaban el alcohol en el vino o hacían que el pan fuera ligero y blando. Por supuesto, estos procesos debían detenerse en el momento preciso mediante el calor. Si se permitía que la levadura siguiera con vida, el vino se convertiría en vinagre y la masa del pan acabaría por hundirse de nuevo. Si esto era

lo que ocurría durante la fermentación, Pasteur se preguntó si otros microorganismos estaban actuando en procesos atribuidos a las reacciones químicas, como la generación espontánea, y lo convirtió en una competición pública con su colega y compatriota Félix Pouchet (1800-1872), que apoyaba la teoría de la generación espontánea.

En una serie de experimentos, Pasteur hirvió mezclas de cebada y agua para esterilizarlas, y luego las dejó expuestas al aire y a las partículas de polvo que flotan en él. Por lo general, si se examinaba el líquido al cabo de unos días, estaría lleno de microorganismos. Lo que descubrió Pasteur fue que si se eliminaban las partículas de polvo del aire, la solución seguía siendo estéril. Para demostrar que los microorganismos procedían de las partículas y no del propio aire, diseñó un matraz especial con el cuello curvado como el de un cisne, que permitía la entrada de aire pero no de polvo. Al realizar experimentos similares, Pouchet se encontró con que al cabo de un tiempo sus matraces contenían microorganismos, y lo interpretó como una demostración de la generación espontánea. Pasteur, cuando los experimentos no daban el resultado esperado, lo atribuía a no haber limpiado a conciencia los matraces… y suponía que Pouchet era un chapucero. Pasteur ganó la partida, a pesar de haber ignorado los resultados de algunos experimentos que no demostraban lo que él quería ¡y parecían apoyar la tesis de Pouchet! Triunfó en parte porque era un científico perseverante y decidido que creía estar en lo cierto, pero también porque la afirmación de Virchow de que «todas las células vienen de otras células» estaba ganando adeptos. La gente quería creer a Pasteur porque su teoría suponía un gran paso adelante, lo cual también es

importante en ciencia.

El microscopio permitió grandes avances en medicina e investigación biológica. Al mismo tiempo que éstas mejoraban, lo hacían también los instrumentos para preparar los ejemplares antes de examinarlos a través de las lentes. Una de las técnicas más importantes eran las tinciones, que actuaban como tintes y coloreaban y destacaban características de la estructura celular que de otro modo habrían pasado inadvertidas. Así pudo observarse que el núcleo teñido albergaba una serie de hebras oscuras que recibieron el nombre de «cromosomas» (*cromo* procede del término griego que significa «color»). Cuando una célula se dividía, era posible ver cómo estos cromosomas se hinchaban. Fue necesario esperar hasta el siglo XX para entender la relevancia de este descubrimiento, así como el de otras partes de las células que los científicos pudieron identificar. Pero fueron los científicos y los biólogos del siglo XIX los que echaron la bola a rodar. Por encima de todo, demostraron que si uno quería entender el funcionamiento de las plantas y los animales, tanto en la salud como en la enfermedad, era necesario fijarse en las células que los formaban. Un tipo concreto de célula (un organismo unicelular llamado *bacteria*) se convirtió en la clave para entender las enfermedades. Lo cierto es que aún no hemos terminado con Louis Pasteur, puesto que éste desempeñó un papel fundamental en el descubrimiento de la relación entre gérmenes y enfermedad, así como en la comprensión del papel que juegan los microorganismos en nuestra vida cotidiana.

Toses, estornudos y enfermedades

Cuando moqueamos, nos resfriamos o nos duele la barriga, a menudo decimos que hemos *cogido* un microbio o un virus, en referencia a alguna clase de germen. El concepto de «coger» algo nos resulta tan natural que es difícil darse cuenta de lo sorprendente que resultó que alguien elaborara una teoría según la cual eran los gérmenes los que ocasionaban las enfermedades. Siglos atrás, los médicos las habían justificado por los cambios en los humores internos del cuerpo, y más recientemente le habían echado la culpa a una mala constitución (podríamos decir unos «malos genes»), al excesivo apego a la comida o a la bebida, o a los malos hábitos, como quedarse despierto toda la noche. A nadie se le había ocurrido que un organismo vivo exterior pudiera ser el causante de las enfermedades. Se trataba de una idea novedosa, y conllevó un replanteamiento sustancial de qué significaba en realidad la enfermedad.

Lo cierto es que con anterioridad los médicos habían hablado de las «semillas» de la enfermedad y a menudo se utilizaba el término *virus*, pero con el significado de un simple veneno. Que la gente muriera envenenada, por

accidente o de forma deliberada, no era nada nuevo; lo novedoso de esta teoría de los gérmenes era que la fuente externa era una criatura viva diminuta: un microorganismo. El lenguaje que se utilizó a partir de entonces tenía reminiscencias bélicas: el cuerpo utilizaba «defensas» contra estos gérmenes y podía «luchar» contra la infección. La teoría de los gérmenes constituyó un importante punto de inflexión en medicina.

En el capítulo anterior conocimos a su representante más destacado, Louis Pasteur, que fue descubriendo los gérmenes de una forma gradual. Había dedicado mucho tiempo a investigar el papel de los microorganismos sobre todo en procesos cotidianos: la destilación de cerveza, la fermentación de vino, la cocción del pan. La pasteurización de la leche y otros productos lácteos se debe a los descubrimientos que realizó; si miras en tu nevera, verás su nombre impreso en los envases. La leche pasteurizada se ha calentado hasta la temperatura adecuada para matar los gérmenes que contiene, lo cual hace que se conserve durante más tiempo y sea más seguro beberla.

Sin embargo, aún quedaba un largo camino para demostrar que las bacterias, la levadura, los hongos y otros microorganismos podían ocasionar enfermedades a los animales y los humanos. Una cosa era observarlos a través del microscopio, y otra muy distinta probar que ellos y sólo ellos eran los responsables de una enfermedad concreta. Lo que hoy conocemos como enfermedades infecciosas habían sido siempre mortales. La peste bubónica, o Muerte Negra, provocaba fiebres altas e hinchazones muy dolorosas en el cuerpo, llamadas bubones. A partir de la década de 1340 y durante más de trescientos años, arrasó los pueblos y las

ciudades ingleses una y otra vez. La propagaban las pulgas que vivían en las ratas negras, pero pasaba a los hombres cuando las ratas también morían de ella. La viruela, el tifus o la escarlatina, con sus sarpullidos y sus fiebres altas, también se cobraban su triste peaje. Los padres podían tener ocho hijos o más y perder a la mayoría debido a una enfermedad cuando aún eran niños.

Al estudiar estas enfermedades, los médicos las atribuían a una de dos posibles causas. Unos creían que estas dolencias que afectaban a toda una comunidad eran «contagiosas», lo que significaba que se transmitían de una persona a otra a través del contacto, cuando un individuo sano tocaba a otro enfermo, o bien sus ropas o sábanas. La viruela, con sus terribles manchas, parecía ser una enfermedad contagiosa, sobre todo porque la gente que no la sufría a menudo la cogía si cuidaba de un familiar o amigo.

La propagación de otras enfermedades era mucho más difícil de explicar a través del contagio. Según algunos médicos, la causa de éstas eran las «miasmas», esto es, un olor o vapor fétido o insalubre. El origen de las enfermedades miasmáticas serían las perturbaciones dañinas en la atmósfera: el hedor de vegetales o agua putrefactos, los malos olores de la habitación de un enfermo… Durante la primera década del siglo XIX, el cólera se convirtió en la enfermedad epidémica más temida. Era habitual en India, pero en la década de 1820 se extendió por todo el mundo. Tardó seis años en llegar desde India hasta Gran Bretaña, donde sembró el pánico, pues se trataba de un fenómeno nuevo y aterrador. El cólera ocasionaba diarreas y vómitos espectaculares, y dejaba a la pobre víctima temblorosa y sumida en la agonía, hasta que sucumbía a un final indigno.

A menudo los enfermos no sobrevivían más allá de un día.

Hoy en día los viajes internacionales contribuyen a expandir con rapidez las enfermedades, pero en esa época el progreso era mucho más lento. A medida que los médicos y los funcionarios veían cómo el cólera se extendía lentamente por Asia y Europa del Este, no podían afirmar con certeza si se transmitía de persona a persona (mediante contagio) o si se trataba de una epidemia miasmática. A mucha gente le preocupaba que se estuviera transmitiendo a través de algo que todo el mundo compartía: el aire que respiraban.

Según la teoría que suscribieran, los funcionarios podían adoptar distintas medidas. Si la causa de la epidemia era el contagio, lo mejor era aislar a los enfermos y ponerlos en cuarentena. Si se trataba de miasmas, lo más importante era limpiar y mejorar la calidad del aire. El cólera ocasionó intensos debates al alcanzar por primera vez Gran Bretaña a finales de 1831. En medio del pánico, las opiniones médicas estaban divididas, pero la cuarentena no parecía surtir mucho efecto. Tras el regreso de la enfermedad en 1848 y 1854, el médico londinense John Snow (1813-1858) descubrió con gran sagacidad lo que estaba ocurriendo. A través de charlas con los residentes locales y mediante la elaboración de un mapa de los casos existentes en el vecindario, llegó a la conclusión de que el cólera se estaba expandiendo a través del agua de un surtidor público del Soho, en el centro de Londres. Imaginó que el agua estaba contaminada por las heces y los vómitos de las víctimas del cólera, así que tomó una muestra para examinarla con el microscopio. Aunque no pudo identificar una causa específica, su trabajo hacía hincapié en la necesidad del agua limpia para la salud pública.

Las investigaciones de Snow revelaron cómo se extendía el cólera, no lo que lo provocaba. Para eso era imprescindible el trabajo en el laboratorio, sobre todo el de Louis Pasteur. Al tiempo que él continuaba con su estudio de los microorganismos, el Gobierno francés le pidió que investigara una enfermedad de los gusanos de seda que estaba acabando con la industria francesa de la seda. Obediente, Pasteur se trasladó con su familia al sur de Francia, donde se producía la seda, y puso a trabajar a su mujer y a sus hijos para que le ayudaran a identificar la causa del problema, que resultó ser un microorganismo que infectaba las larvas de los gusanos de seda. Al revelar el modo de eliminarlo, Pasteur salvó la industria francesa de la seda.

Este paso le puso en la senda de la enfermedad. Quería demostrar que la causa de muchas de las enfermedades que sufrían los animales y los hombres eran los microorganismos. Empezó con el ántrax, una enfermedad que afectaba a los animales de granja y en ocasiones se transmitía a los humanos. Hasta hace poco se trataba de una enfermedad largo tiempo olvidada, aunque ahora los terroristas nos amenazan con ella. Provoca desagradables úlceras en la piel y, si alcanza el flujo sanguíneo, puede provocar la muerte. Está originada por una bacteria, así que resulta relativamente fácil de detectar. El ántrax se convertiría en la primera enfermedad humana que Pasteur fue capaz de prevenir mediante una vacuna.

En 1796 un médico rural inglés llamado Edward Jenner (1749-1823) había encontrado una forma de prevenir la viruela inyectando a un niño viruela del ganado, una enfermedad similar pero mucho más leve. La viruela del

ganado afectaba en ocasiones a las vacas y las ordeñadoras, y se había observado que estas chicas parecían estar protegidas de la viruela, mucho más peligrosa. Jenner bautizó su nuevo procedimiento como «vacunación» (procedente del término latino *vacca*), y a partir de entonces se iniciaron programas de vacunación en muchos países, que ayudaron a disminuir de forma drástica los casos de esta seria enfermedad.

Pasteur quería hacer algo parecido con el ántrax, pero no existía ninguna enfermedad similar. En lugar de eso, aprendió a debilitar la bacteria del ántrax cambiando sus condiciones de vida, como la temperatura o el alimento al que podía acceder, y exponiéndola al aire. Las bacterias, igual que nosotros, necesitan condiciones adecuadas para desarrollarse. Pasteur consiguió mermar la capacidad de la bacteria del ántrax de causar una enfermedad, y denominó a esta bacteria debilitada «vacuna», en honor a Jenner. A continuación, invitó a varios periodistas a presenciar un experimento. Tras haber inyectado su vacuna a algunas ovejas y reses, le dio la bacteria del ántrax a ese grupo, y luego a otro. El experimento fue un éxito rotundo: los animales a los que había vacunado no se vieron afectados por la bacteria, mientras que los que no gozaban de esa protección murieron. Pasteur había hecho que el mundo tomara conciencia del poder de la ciencia médica.

Después del ántrax vino la rabia, una enfermedad terrible ocasionada generalmente por el mordisco de un animal infectado. A menudo resulta fatal, y sus víctimas, entre ellas muchos niños, expulsan espuma por la boca y ni siquiera pueden beber agua. Lo más extraordinario de Pasteur y la rabia era que él ni siquiera era consciente de

aquello a lo que se enfrentaba. El virus que causa la rabia es tan pequeño que Pasteur y sus contemporáneos ni siquiera podían detectarlo con el microscopio. Aun así, a través de los síntomas de las víctimas, Pasteur dedujo que fuera cual fuese la causa de la rabia estaba atacando el cerebro y la médula espinal, el centro del sistema nervioso. Así que utilizó la médula espinal de conejos para cultivar el virus de forma artificial. Podía hacerlo más o menos dañino según las condiciones del cultivo, y usó la versión más débil para elaborar una vacuna. Su primer caso humano se saldó con un éxito incontestable y le proporcionó a Pasteur fama mundial. Joseph Meister era tan sólo un niño cuando le mordió un perro rabioso. Sus desesperados padres se lo llevaron a Pasteur, que accedió a intentar salvarle la vida con una serie de inyecciones. Pasteur era químico, así que fue un médico quien tuvo que ponérselas, pero la vacuna fue un triunfo: el joven Meister sobrevivió, y trabajó para Pasteur durante el resto de su vida. Otras personas que habían recibido mordiscos de animales con rabia se apresuraron a acudir a París para recibir esta nueva cura milagrosa. El exitoso tratamiento causó sensación a nivel internacional y la gente donó dinero para fundar el Instituto Pasteur, donde éste trabajó hasta su muerte. Más de un siglo después, el instituto sigue en plena forma.

Pasteur fue siempre un personaje insólito, tanto por sus increíbles éxitos como por el modo en que cultivó y estudió sus microorganismos. A otros científicos, sus métodos les resultaban burdos y difíciles. Muchos de los instrumentos de laboratorio que los científicos siguen utilizando para estudiar las bacterias fueron desarrollados por el rival alemán de Pasteur, Robert Koch (1843-1910). A diferencia de

Pasteur, Koch era un médico que empezó su trabajo mientras trataba a sus pacientes. También él estudió el ántrax, esa bacteria fácil de detectar, y descubrió cómo se transmitía de animales a personas, así como su complicado ciclo de vida. La bacteria del ántrax entraba en ocasiones en una especie de hibernación, conocida como «fase espora». Estas esporas son muy difíciles de aniquilar y también pueden afectar a animales y humanos, de modo que desarrollan la enfermedad de más de una forma distinta. Aunque las bacterias están compuestas de una sola célula, resultan ser organismos muy complejos.

Koch fue un pionero en el uso de la fotografía para mantener un registro visible de la bacteria que ocasiona la enfermedad. Cultivaba sus bacterias en una especie de gelatina sólida llamada agar-agar, que permitía identificar y estudiar las colonias individuales (grupos de bacterias). Se trataba de un método mucho más organizado que los matraces y las sopas de Pasteur. Uno de los ayudantes de Koch, llamado Petri, inventó las pequeñas placas utilizadas para contener el agar y cultivar la bacteria. Koch también valoraba el uso de tinciones para identificar las distintas bacterias. Estos avances cambiaron el rostro de la bacteriología, y contribuyeron a que los médicos y científicos a nivel internacional empezaran a entender estos diminutos organismos.

Koch era un «cazador de microbios» (*microbio* es tan sólo un diminutivo de *microorganismo*), e identificó los gérmenes que causaban dos de las enfermedades más importantes del siglo XIX. En 1882 anunció el descubrimiento del bacilo de la tuberculosis, la bacteria causante de esta enfermedad. La tuberculosis era la enfermedad más mortal

en aquella época, pero los médicos creían que o bien era hereditaria o bien resultado de un estilo de vida poco sano. Las investigaciones de Koch demostraron que se trataba de una enfermedad infecciosa que se transmitía de una persona enferma a otra. Se diferenciaba de otras enfermedades epidémicas, como la gripe, el sarampión, el tifus o el cólera, en que su contagio y su progresión eran lentos, y el paciente tardaba en morir. La tuberculosis suele destruir los pulmones al cabo de un número indeterminado de años.

El segundo gran hallazgo de Koch fue la bacteria causante del cólera, la otra enfermedad más temible de la época. Tras su aparición en Egipto en 1883, franceses y alemanes enviaron científicos para ver si podían descubrir su causa. Fue una especie de competición. Uno de los miembros de la expedición francesa contrajo la enfermedad y murió. (Pasteur había querido ir, pero estaba demasiado débil.) Koch y sus colegas alemanes creyeron haber encontrado el germen correcto, pero no podían estar seguros, así que Koch se desplazó a India, donde en aquella época el cólera era habitual. Al identificar el bacilo del cólera, demostró que Snow había estado en lo cierto: se trataba de algo que estaba en el agua. Encontró el bacilo tanto en la diarrea de las víctimas como en los pozos de los que éstas sacaban el agua. La comprensión de las causas de las enfermedades infecciosas pavimentó el camino para controlarlas mejor y, a la larga, elaborar vacunas que han salvado incontables millones de vidas a lo largo del siglo pasado.

A partir de finales de la década de 1870, muchos gérmenes causantes de enfermedades se identificaron correctamente (y más tarde se descubrió que muchos de

ellos no eran en absoluto peligrosos). Fue una época apasionante, y numerosos médicos creían que se trataba del amanecer de una nueva era para la medicina y la higiene. Se demostró la importancia de la limpieza del agua, la leche y todo lo que se comía y se bebía. Desde entonces, los médicos nos han advertido de que debemos lavarnos las manos después de ir al lavabo y cubrirnos la boca al toser. La identificación propició la elaboración de vacunas y, más tarde, de fármacos, y posibilitó la cirugía moderna.

Ya en la década de 1860, el cirujano inglés Joseph Lister (1827-1912) se había sentido inspirado por los gérmenes de Pasteur, y fue él quien introdujo lo que denominamos «cirugía antiséptica». Es probable que en tu botiquín tengas alguna crema antiséptica. El nuevo método de Lister utilizaba el ácido carbólico, también conocido como fenol, que servía para desinfectar las aguas residuales. Lister lo usaba para limpiar sus instrumentos quirúrgicos y las vendas que colocaba sobre el paciente tras ser abierto. Más adelante inventó un artilugio para rociar ácido carbólico sobre el cuerpo del paciente y las manos del cirujano durante la operación. Al comparar a sus pacientes con los de los médicos que no utilizaban sus métodos, o con sus propios pacientes anteriores a que él los usara, descubrió que muchos más pacientes habían sobrevivido a la operación y no habían muerto de infecciones que empezaban en la mesa de las operaciones y se extendían por la sangre. En sus experimentos para refutar la generación espontánea, Pasteur había demostrado que los gérmenes se transportaban por el aire en las partículas de polvo. Lister estaba matando esos gérmenes con su protocolo de ácido carbólico.

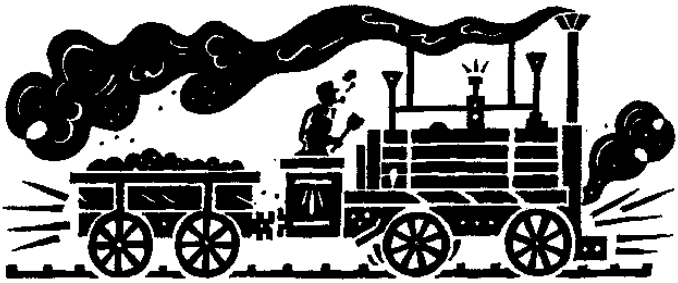
Del mismo modo que él había mejorado los instrumentos

de laboratorio de Pasteur, Robert Koch mejoraría la cirugía antiséptica de Lister. El objetivo de Lister había sido eliminar de la herida cualquier germen causante de enfermedades; la cirugía *aséptica* de Koch evitaría que éstos llegaran a entrar en la herida. Fue él quien inventó el autoclave, un aparato que esterilizaba el instrumental quirúrgico mediante vapor a elevadas temperaturas. La cirugía aséptica permitió a los cirujanos acceder a las cavidades corporales (el pecho, el abdomen y el cerebro) con seguridad por vez primera, y poco a poco condujo al actual escenario de los quirófanos, con sus gorros y máscaras quirúrgicos, los guantes de goma y el equipo esterilizado.

Junto con la higiene moderna, la cirugía moderna no podría haber avanzado de no ser por la anestesia. Introducida en la década de 1840 en Estados Unidos, se trataba de un triunfo de la química al servicio de la medicina, puesto que los compuestos que dormían a la gente (el éter y el cloroformo) eran productos químicos elaborados en el laboratorio. (El óxido nitroso de Humphry Davy fue también uno de los primeros anestésicos.) La eliminación del dolor insoportable de la cirugía y de los partos, y en ocasiones de la muerte, parecía una especie de milagro. Uno de los pioneros británicos fue John Snow, famoso por la vacuna del cólera. Su carrera en el ámbito de la anestesia despegó tras suministrarle anestesia a la reina Victoria durante el nacimiento de sus dos últimos hijos. La reina, que había dado a luz a siete hijos sin ella, la consideró un hallazgo extremadamente dichoso.

El estudio de los gérmenes posibilitó el avance de la cirugía, y también proporcionó a los médicos las claves para entender las enfermedades infecciosas que tanto dolor y

muerte habían provocado a lo largo de la historia humana. Ahora existía una base científica para el descubrimiento de la vacuna por parte de Edward Jenner que permitía protegerse de algunas enfermedades específicas. A pesar de que en esa época resultaban dolorosas, esas inyecciones valían la pena, pues ofrecían la esperanza de que si todo el mundo se vacunaba, muchas enfermedades podrían erradicarse. Hoy en día sabemos mucho más acerca de los gérmenes que en la época de Pasteur y Koch, y somos más conscientes, como veremos en el capítulo 36, de lo adaptables y escurridizos que son estos virus, bacterias y parásitos. Han logrado adaptarse a los medicamentos y tratamientos que les han aplicado los médicos y volverse resistentes. Han sobrevivido porque se han adaptado, una lección que Darwin fue el primero en señalar.



Motores y energía

«Lo que vendo aquí, señor, es lo que todo el mundo desea poseer: energía.» El ingeniero Matthew Boulton (1728-1809) sabía de lo que hablaba. En la década de 1770, Boulton y otros hombres ambiciosos como el inventor James Watt (1736-1819) utilizaban los motores de vapor en la minería y las fábricas. Parecían haber domesticado la energía. Estos hombres impulsaron la Revolución industrial en Gran Bretaña, el primer país en industrializarse y desarrollar un sistema organizado en torno a las fábricas. Se trataba de una revolución propiciada por los avances científicos y que dependía de un incremento descomunal de la energía para manufacturar bienes a gran velocidad y transportarlos a todas partes. El mundo moderno resulta inconcebible sin la energía, sin grandes cantidades de ella. Y todo empezó con el vapor.

Los motores a vapor eran bastante sencillos. Es posible observar el principio que los regía cada vez que hervimos agua en un cazo con tapa: la fuerza del vapor empuja la tapa para permitir la salida del vapor y la hace repiquetear. Ahora imagínate que en lugar de un cazo tienes un cilindro

cerrado con un pequeño agujero en un extremo en el que se introduce un pistón móvil (es decir, un disco que se ajusta al cilindro, con una protuberancia que se ajusta al agujero). La presión del vapor desprendido empuja el pistón hacia arriba y mueve cualquier cosa que esté unida a él, como una barra con las ruedas de un tren ensambladas a ella. Así pues, un motor a vapor convierte la energía del vapor en movimiento, en energía mecánica. Este motor puede realizar actividades muy útiles, como activar una pieza de maquinaria o bombear agua de una mina.

Ni Boulton ni Watt inventaron el motor a vapor, que existía desde hacía más de un siglo. Sin embargo, los modelos primitivos eran toscos, poco fiables e ineficientes. Watt en concreto fue el cerebro que propició la mejora de este motor. Su modelo no sólo proporcionó la energía que permitió la industrialización de Gran Bretaña, sino que también permitió a los científicos estudiar una de las leyes básicas de la naturaleza, al darse cuenta de que el calor no era una sustancia, como pensaba Lavoisier, sino una forma de energía.

A pesar de los muchos eruditos que estudiaron los motores durante la revolución industrial, hay una figura que sobresale entre la multitud: el joven ingeniero francés Sadi Carnot (1796-1832). En aquella época, franceses y británicos eran grandes rivales. Carnot era consciente de que estos últimos habían desarrollado el diseño de los motores a vapor y estaban usando la energía que generaban. Su deseo era que Francia se pusiera a su altura, y mientras estudiaba los motores a vapor en funcionamiento, descubrió un principio científico fundamental, relacionado con su *eficiencia*.

Si un motor a vapor es perfectamente eficiente,

convertirá en fuerza *toda* la energía necesaria para hervir el agua que permite su funcionamiento. Es posible medir la cantidad de calor producida en la combustión del carbón o la madera para conseguir el vapor, y luego medir la fuerza que ha generado el pistón. Si los motores fueran absolutamente eficientes, el resultado sería el mismo en ambos casos. El problema es que es imposible construir motores absolutamente eficientes.

Todos los motores tienen un cárter o «depósito» de calor, donde se almacenan el agua y el vapor enfriados después de realizar su trabajo. Es posible medir la temperatura del vapor al entrar y la del vapor (o el agua) que queda al final de cada ciclo. En el cárter, la temperatura es siempre menor al salir que al entrar. Carnot demostró que se podía utilizar la diferencia entre ambas temperaturas para calcular la eficiencia de un motor. Si la eficiencia perfecta fuera 1, la eficiencia real sería 1 menos la temperatura del depósito (al salir) dividida por la de la fuente (al entrar). La única forma de obtener un resultado de 1 sería que el motor extrajera todo el calor del vapor, en cuyo caso la proporción entre lo que sale y lo que entra sería 0. Eso daría 1 − 0 = 1. Para que eso ocurriera, una de las medidas de temperatura tendría que ser cero o infinito: vapor infinitamente caliente al entrar o «cero absoluto» (la temperatura más baja posible en teoría, que analizaremos a continuación) al salir del depósito. Ninguna de las dos cosas es posible, de forma que la eficiencia nunca podrá ser perfecta.

La sencilla ecuación de Carnot, destinada a medir la eficiencia de los motores, también resume una profunda ley de la naturaleza y explica por qué las máquinas en «perpetuo movimiento» pueden aparecer en los libros de

ciencia ficción pero no existir en la realidad. Para conseguir energía siempre es necesario utilizar energía; por ejemplo, hay que quemar carbón u otro combustible para calentar el agua en primera instancia. En las décadas de 1840 y 1850, otros científicos estaban analizando esta ley natural básica. Uno de ellos era el físico alemán Rudolph Clausius (1822-1888), que dedicó la mayor parte de su vida a observar cómo fluye el calor en situaciones experimentales controladas con meticulosidad. Para ello introdujo un nuevo concepto en física: la «entropía», que mide hasta qué punto están mezcladas (desordenadas) las cosas en un sistema. Resulta mucho más sencillo mezclar las cosas que separarlas. Si mezclas pintura negra y blanca, obtienes pintura gris. La mezcla es fácil, pero es imposible separarlas y obtener de nuevo el negro y el blanco puros. Si añades azúcar y leche al té, puedes recuperar el azúcar mediante un dificultoso proceso, pero es imposible recuperar la leche. La energía funciona de un modo similar: una vez has quemado el carbón, no puedes usar el calor resultante para recuperarlo.

Para la gente del siglo XIX, el concepto de entropía resultaba deprimente. Según Clausius, el universo se estaba desordenando cada vez más, puesto que la entropía era un estado «natural». Una vez las cosas se han mezclado, hace falta más energía para separarlas, del mismo modo que hace falta más energía para limpiar una habitación que para desordenarla. Clausius sostenía que poco a poco el universo se estaba deteriorando y que el final del proceso sería un universo en el que la materia y la energía se distribuirían de forma uniforme por todo el espacio. Incluso nuestro Sol acabaría por morir en unos cinco mil millones de años y, con él, la vida sobre la Tierra. Mientras tanto, por supuesto, las

plantas, los animales, los seres vivos, nuestras casas y nuestros ordenadores desafían el punto final de la teoría de Clausius. Ya lo dice el dicho: «Corta el heno mientras brille el sol».

Mientras los físicos y los ingenieros se preocupaban por los efectos de la entropía, también analizaban qué era exactamente la energía. El calor es una destacada forma de energía, hasta el punto de que el estudio de la energía se denomina «termodinámica» (una palabra que combina los términos griegos para «calor» y «fuerza»). En la década de 1840, fueron varias las personas que llegaron a conclusiones similares respecto a la relación entre las diversas formas de energía. Para ello, analizaron diversos aspectos: ¿qué ocurre cuando el agua hierve o se congela? ¿Cómo pueden levantar pesos los músculos? ¿Cómo consiguen los motores a vapor utilizar el vapor de agua caliente para producir algo que puede realizar trabajo? (El primer ferrocarril público, conducido por motores a vapor, había entrado en funcionamiento en el norte de Inglaterra en 1825.) Tras estudiar la cuestión desde estos distintos ángulos, todos se dieron cuenta de que no es posible crear energía de la nada ni tampoco es posible hacerla desaparecer. La única posibilidad es transformarla de una forma a otra, proceso que es posible que implique algún trabajo por tu parte. Esta teoría fue conocida como el principio de la conservación de la energía.

El físico de Mánchester J.P. Joule (1818-1889) deseaba entender la relación entre calor y trabajo. ¿Cuánta energía hacía falta para realizar una cierta cantidad de trabajo? Con una serie de brillantes experimentos, demostró que el calor y el trabajo estaban directamente relacionados, de forma que

podían expresarse a través de las matemáticas. La energía se usa para obtener trabajo (por ejemplo, para ir en bicicleta), y el calor es una forma común de energía. Al escalar una montaña, utilizamos la energía cada vez que movemos un músculo. Esta energía proviene de la comida que ingerimos y digerimos, utilizando el oxígeno que respiramos para «quemar» las calorías de nuestro alimento. Ahora bien, es posible que existan dos rutas para subir la montaña, una muy empinada y la otra más gradual. Lo que demostró Joule fue que, en términos de la energía necesaria, la ruta que elijas no es relevante. Es posible que la cuesta más empinada te deje los músculos doloridos, pero la cantidad de energía que utilizas para transportar el peso de tu cuerpo desde el pie hasta la cima de la montaña es la misma en las dos rutas, ya recorras el camino corriendo o caminando. Los físicos aún recuerdan el nombre de Joule, que se relaciona con diversas unidades de medida, entre ellas la de la energía o calor.

El cálculo del calor que contiene un objeto, esto es, su temperatura, había sido siempre objeto de estudio por parte de los estudiosos. Galileo (capítulo 12) experimentó con un aparato denominado «termoscopio», que permitía observar los cambios de temperatura. Un «termómetro», por su parte, te permite poner un número al grado de calor. En la actualidad seguimos utilizando dos de las primeras escalas de temperatura. Una fue inventada por el físico alemán Daniel Gabriel Fahrenheit (1686-1736), que se servía de termómetros que contenían tanto mercurio como alcohol; en su escala, el agua se congelaba a treinta y dos grados, y nuestra temperatura corporal estándar era de noventa y seis grados. Anders Celsius (1701-1744) diseñó su escala

tomando como punto de partida el punto de congelación y de ebullición del agua; el primero se establecía a cero grados y el segundo, a cien. Su termómetro medía las temperaturas entre ambos puntos. Estas dos escalas continúan formando parte de nuestra vida cotidiana y nos sirven tanto para saber la temperatura a la que hay que hornear un pastel como para quejarnos del tiempo.

El físico escocés William Thomson (1824-1907) inventó otra escala. Su interés se centraba en el modo en que el calor y otras formas de energía se comportaban en la naturaleza. Era profesor en la Universidad de Glasgow y más tarde recibió el título de Lord Kelvin. Su escala de temperatura es conocida como escala Kelvin o K, que diseñó utilizando mediciones muy precisas y principios científicos. Comparada con la escala K, la de Celsius o la de Fahrenheit resultaron ser bastante rudimentarias.

El punto que define la escala K es el «triple punto del agua», que tiene lugar cuando los tres estados del agua –hielo (sólido), agua (líquido) y vapor (gaseoso)– se hallan en «equilibrio termodinámico». Éste puede producirse en un sistema experimental, cuando se aísla una sustancia a una temperatura y una presión fijas. En ese momento no se produce ningún cambio en el estado de la sustancia y no entra ni sale energía del sistema. El triple punto del agua se da cuando su estado sólido, líquido y gaseoso se mantienen en perfecto equilibrio. En cuanto cambian la temperatura o la presión, se pierde el equilibrio.

En la escala Celsius o Fahrenheit, las temperaturas pasan a ser negativas cuando hace mucho frío (es posible que hayas oído a los hombres del tiempo decir que la temperatura es de menos uno o dos grados). En la escala K

no hay cifras negativas. El agua se congela a 273,16 grados Kelvin (correspondientes a los 0 grados en la escala Celsius y los 32 en la de Fahrenheit). Por debajo de los 0 grados Kelvin hace bastante más frío, pero aquí el 0 significa «cero absoluto». Se trata de una temperatura intolerablemente baja, de modo que toda energía y movimiento desaparecerían. Igual que con el motor de eficiencia perfecta, se trata de un punto al que es imposible llegar.

Kelvin y algunos otros contribuyeron a explicar el funcionamiento científico y práctico de todo tipo de motores. A medida que avanzó el siglo XIX, los tres descubrimientos reseñados en este capítulo se convirtieron en la primera, la segunda y la tercera ley de la termodinámica: la conservación de la energía, la «ley de la entropía» y la inmovilidad absoluta de los átomos en el cero absoluto. Estas leyes nos ayudan a comprender aspectos importantes de la energía, el trabajo y la fuerza.

El mundo moderno no daba abasto con su recién descubierta fuente de energía: para operar fábricas, barcos, trenes y, hacia el final de la vida de Kelvin, motores de coche. Los barcos y los trenes a vapor utilizaban el vapor del carbón de sus calderas para producir el vapor que impulsaba los motores. Pero los coches funcionaban con un nuevo modelo de motor: el de combustión interna. Éste necesitaba un combustible altamente volátil llamado petróleo, o gasolina, descubierto a finales del siglo XIX. En el siglo siguiente, el petróleo se convertiría en uno de los productos más importantes, y en el nuevo milenio sigue siendo uno de los recursos más buscados y cada vez más escasos.

La tabla de los elementos

Cada vez que mezclamos ingredientes para hornear algo, estamos utilizando reacciones químicas. Las burbujas que se producen al limpiar nuestros hervidores no son más que química a nuestro servicio. Las botellas de agua de plástico o la ropa de colores que llevamos son posibles gracias a los conocimientos científicos obtenidos a lo largo de cientos de años.

La química alcanzó la modernidad en el siglo XIX. Recapitulemos un poco. A principios de siglo, los químicos aceptaron la idea original de Dalton sobre los átomos, que describimos en el capítulo 21, y realizaron grandes progresos para crear un nuevo lenguaje que todos pudieran comprender, sin importar su país de procedencia. Disponían del sistema de símbolos para elementos, como por ejemplo H_2 para dos átomos de hidrógeno. Todo el mundo convenía que el átomo era la unidad de materia más pequeña. El término *elemento* designaba una sustancia formada por un solo tipo de átomos (el carbono, por ejemplo), mientras que un *compuesto* hacía referencia a dos o más elementos que se unían a través de un proceso químico. Los compuestos

podían dividirse en elementos (el amonio podía descomponerse en nitrógeno e hidrógeno), pero una vez obtenías los elementos individuales, no era posible proseguir la descomposición.

Aunque los átomos no eran las diminutas bolas duras que había descrito Dalton, resultaba extremadamente difícil decir qué eran con exactitud. En lugar de eso, los químicos empezaron a descubrir muchos aspectos de su comportamiento al ser mezclados con otros átomos o compuestos. Había elementos que sencillamente no mostraban ningún interés en reaccionar con otros, a pesar de los esfuerzos, mientras que otros reaccionaban con tal violencia que era necesario protegerse de la explosión. En ocasiones, sin embargo, era posible obtener una reacción si ayudabas a que empezara. Si mezclabas oxígeno e hidrógeno en un matraz no ocurría nada, pero si aplicabas una chispa, ¡era digno de verse! A pesar de la aparatosa explosión, la reacción no producía nada aparte de un agua de lo más común. En el otro extremo, si se mezclaba magnesio y carbono en un matraz sin aire, podía aplicárseles calor eternamente y no sucedería nada. Pero si dejabas entrar un poco de aire, obtenías una luz brillante y una desagradable cantidad de calor.

Los químicos tenían conocimiento de estas diversas reacciones químicas. Su curiosidad también se vio estimulada por las causas que las originaban y los patrones que se revelaban en el laboratorio. Organizaron sus experimentos de dos formas principales: síntesis y análisis. La «síntesis» consiste en juntar elementos: empiezas con elementos o compuestos simples, y cuando éstos reaccionan junto a otro, se observan los resultados. El «análisis» sigue

el proceso contrario: se empieza con el compuesto más complejo, se hace algo para dividirlo y, al observar el resultado, se intenta entender el compuesto original. Estos métodos proporcionaron a los químicos una idea más que aproximada de en qué consistían los compuestos, sobre todo los más simples. De este modo resultaba más sencillo crear compuestos más complejos con la adición de nuevas pizcas de sustancias a las que ya conocían.

A partir de estos experimentos, dos cosas en concreto quedaron claras. En primer lugar, como hemos visto, que los propios elementos parecían tener cada uno tendencias positivas o negativas. Como dice el refrán, los polos opuestos se atraen. Por ejemplo, el sodio, un elemento positivo, combinaba con facilidad con el cloro, negativo, para formar el cloruro de sodio (que no es más que la sal que echamos a nuestros alimentos). Los polos positivo y negativo se contrarrestan, así que la sal es neutra. Todos los compuestos estables, es decir, aquellos que no pueden cambiar a menos que se les haga algo, son neutros aunque estén formados por elementos que no tienen por qué serlo. Combinar cloro y sodio es un ejemplo de síntesis. Es posible realizar un análisis químico de la sal, sólo hay que disolverla en agua, colocar la solución en un campo eléctrico con su polo negativo y positivo y ver cómo se separa. El sodio se desplazará hacia el polo negativo y el cloro, hacia el positivo. Cientos de experimentos similares convencieron a los químicos de que los átomos de dichos elementos tenían en sí mismos estas características positivas y negativas, y que éstas jugaban un papel esencial para determinar qué ocurría cuando un elemento reaccionaba con otro.

En segundo lugar, los químicos observaron que algunos

grupos de átomos podían permanecer unidos durante los experimentos y comportarse como una unidad. A estas unidades se les dio el nombre de «radicales», y también ellas son negativas o positivas. Su importancia era especialmente destacable en la química «orgánica», gracias a la cual los químicos estaban empezando a comprender toda una serie de compuestos relacionados entre sí (todos los cuales contenían carbono), como los éteres, los alcoholes y los bencenos. El de los bencenos era un grupo fascinante, en el que cada uno tenía una estructura en forma de anillo. Muchos científicos aspiraban a clasificar estos grupos orgánicos y establecer de qué estaban compuestos y cómo reaccionaban, entre otras cosas porque muchas de estas sustancias estaban adquiriendo gran valor en la industria. Estos productos químicos industriales se elaboraban cada vez más en fábricas, y no en pequeños laboratorios. Existía una demanda creciente de fertilizantes, pinturas, medicinas, tintes y, sobre todo a partir de mediados del siglo XIX, derivados del petróleo. Había nacido la industria química moderna, y la química se convirtió en una carrera, no sólo un pasatiempo para los curiosos o los ricos.

También los elementos tienen sus propiedades químicas y físicas únicas. A medida que se iban descubriendo más elementos, los químicos descubrieron ciertos patrones, como que los átomos individuales de algunas sustancias, como el hidrógeno, el sodio o el cloro, sólo se combinaban con otros átomos de forma individual. Por ejemplo, un solo átomo de hidrógeno y otro de cloro, se combinaban para formar un poderoso ácido, el ácido clorhídrico (HCl). Un solo átomo de otros elementos, como el oxígeno, el bario y el magnesio, parecía tener una doble capacidad para combinarse con

otros átomos o radicales, de modo que era necesario mezclar dos átomos de hidrógeno con uno de oxígeno para conseguir agua. Algunos elementos eran incluso más flexibles, y siempre había excepciones que dificultaban el establecimiento de normas fijas y rápidas. Los elementos (y los radicales) también diferían en su predisposición a participar en reacciones químicas. El fósforo era tan activo que había que manejarlo con precaución; el silicio, por lo general, era más inactivo y mucho menos peligroso.

Las propiedades físicas de los diferentes elementos también eran drásticamente distintas. A temperaturas normales, el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno y el cloro eran gases, mientras que el mercurio y el sodio eran líquidos. La mayoría de los elementos en estado natural eran sólidos: metales como el plomo, el cobre, el níquel o el oro. Muchos otros elementos, sobre todo el carbono y el sulfuro, ambos ampliamente estudiados, se hallaban por lo general en estado sólido. Al introducir la mayoría de los sólidos en hornos, éstos podían fundirse con facilidad y en ocasiones incluso vaporizarse (convertirse en gases). También resultaba sencillo (aunque peligroso) vaporizar el mercurio y el sodio líquidos. Los químicos del siglo XIX no disponían de medios para conseguir temperaturas lo bastante bajas como para convertir gases como el oxígeno o el nitrógeno en líquidos, y mucho menos en sólidos, pero eran conscientes de que se trataba de un mero problema técnico. En principio, todos los elementos podían existir en cualquiera de los tres estados de la materia: sólido, líquido y gaseoso.

A mediados de siglo, la química estaba alcanzando su mayoría de edad y en este fascinante periodo había numerosos temas a debate: los pesos relativos de los átomos,

cómo se agrupaban las moléculas (conjuntos de átomos), la diferencia entre compuestos orgánicos e inorgánicos, y muchos otros. En 1860 ocurrió algo que contribuyó al surgimiento de la química moderna, algo que hoy en día parece bastante cotidiano pero que por entonces resultaba insólito: una reunión internacional. En la época anterior al teléfono, los correos electrónicos y los medios de transporte al alcance de todos, era extraño que los científicos se reunieran, y su comunicación se establecía sobre todo a través de cartas. Escuchar a un científico extranjero hablar sobre su trabajo, con un debate abierto a continuación, era un suceso inusual. Los encuentros internacionales empezaron en 1850, gracias a la posibilidad de realizar el viaje en tren o en barco de vapor, y permitieron a los científicos reunirse y charlar con sus colegas de otros países. También anunciaron al mundo una certeza ampliamente compartida por la comunidad científica: que la ciencia era en sí misma objetiva e internacional y estaba por encima de la religión y la política, que a menudo dividían a la gente y generaban guerras entre las naciones.

La reunión de química de 1860 tuvo lugar durante tres días en Karlsruhe, en Alemania. Acudieron muchos de los jóvenes científicos más destacados de Europa, entre ellos tres que marcarían el camino de la ciencia a lo largo de lo que quedaba de siglo. Los objetivos del encuentro fueron establecidos por el alemán August Kekulé (1829-1896), cuya intención era que los científicos de todo el mundo se pusieran de acuerdo sobre los términos que usarían para definir las sustancias con las que trabajaban, y la naturaleza de los átomos y las moléculas. Un vehemente químico siciliano, Stanislao Cannizzaro (1826-1910), ya había hecho

hincapié en este tema con anterioridad, y se sumó con satisfacción a la petición, igual que un apasionado químico ruso de Siberia, Dimitri Ivánovich Mendeléyev (1834-1907). Los delegados debatieron las propuestas de Kekulé durante tres días y, aunque no se alcanzó un acuerdo general, se habían plantado las semillas.

En el encuentro se entregaron a los delegados copias de un artículo publicado por Cannizzaro en 1858, en el que repasaba la historia de la química durante la primera parte del siglo y hacía un llamamiento a los químicos para que se tomaran en serio el trabajo de su compatriota Avogadro, quien había establecido la distinción entre átomo y molécula. Cannizzaro también sostenía que era vital determinar los pesos atómicos relativos de los elementos, y mostró un método para conseguirlo.

Mendeléyev captó el mensaje. Se trataba de un hombre que le debía mucho a su extraordinaria madre, que había llevado al último de sus catorce hijos de Siberia a San Petersburgo para que Mendeléyev pudiera aprender química en condiciones. Como muchos destacados químicos de la época, Mendeléyev escribió un libro de texto basado en sus propios experimentos y en lo que enseñaba a sus alumnos. Igual que Cannizzaro, deseaba poner orden en los muchos elementos que se habían identificado. Ya se habían descubierto algunos patrones: la familia de los «halógenos», en la que se incluían el cloro, el bromo y el yodo, reaccionaba de una forma similar y sus elementos podían intercambiarse en las reacciones químicas. Algunos metales, como el cobre y la plata, también mostraban similitudes en sus reacciones. Mendeléyev empezó a elaborar una lista de los elementos en el orden de sus pesos atómicos relativos

(atribuyendo todavía el 1 al hidrógeno), y presentó sus ideas en 1869.

Mendeléyev hizo mucho más que compilar una lista de los elementos según su peso atómico: creó una tabla con filas y columnas que se podía leer de un lado a otro así como de arriba abajo, y que permitía observar las relaciones entre los elementos con propiedades químicas parecidas. En un principio, su «tabla periódica», como se la denominó, era muy intrincada y pocos científicos le prestaron atención. A medida que empezó a añadir detalles, ocurrió algo interesante: aquí y allá parecían faltar elementos esporádicos, sustancias que según la tabla deberían haber estado allí, pero que aún no se habían descubierto. De hecho, en su tabla faltaba una columna entera, predecible según los pesos atómicos relativos. Años después, esta columna se rellenó con los gases no-reactivos, llamados «nobles». Igual que los aristócratas que no se relacionan con gente de clase más baja, estos gases se mantenían a distancia de las reacciones químicas. Los principales no se descubrieron hasta la década de 1890, y aunque en un comienzo Mendeléyev no aceptó los hallazgos, no tardó en darse cuenta de que el helio, el argón y el neón, con los pesos atómicos que se demostró que tenían, se habían predicho en su tabla periódica.

En los años setenta y ochenta del siglo XIX, los químicos descubrieron varios elementos más que Mendeléyev había predicho en su tabla. Muchos de estos científicos habían rechazado como extravagantes especulaciones sus predicciones de que debían existir los elementos que al final terminaron conociéndose como berilio y galio. A medida que empezaban a rellenarse los huecos que él había identificado,

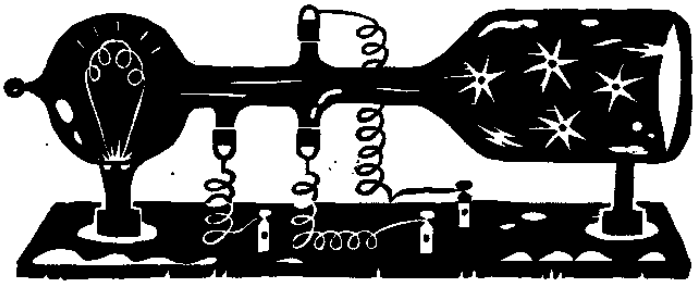
los químicos dieron a la tabla de Mendeléyev el valor que merecía, pues se había convertido en la guía para descubrir nuevos elementos, además de explicar la naturaleza de cada elemento y cómo reacciona con otros. Lo que había empezado como un simple intento por parte de Mendeléyev de entender los elementos se convirtió en una increíble llave para entender el comportamiento de la naturaleza. Hoy en día, la tabla de los elementos está colgada en las aulas y los laboratorios de todo el mundo.

Durante gran parte del siglo XIX, los químicos se habían interesado por la composición química: qué átomos y radicales constituían compuestos específicos. El cerebro del primer congreso químico internacional, August Kekulé, decidió ir más allá y animó a los científicos a investigar la *estructura* química. La biología química y molecular actual se basa en el conocimiento por parte de los científicos de cómo se organizan los átomos y las moléculas en una sustancia: dónde se colocan y las formas que adoptan. Sin ello sería imposible crear nuevos fármacos, y Kekulé fue un pionero en este campo. En una ocasión afirmó que había tenido un sueño en el que vio una cadena de átomos de carbón que se curvaba sobre sí misma, como si una serpiente se mordiera su cola. Esto inspiró uno de sus grandes descubrimientos sobre el benceno, el compuesto de hidrógeno y carbono que tiene la estructura de un anillo cerrado. Los radicales o los elementos pueden incorporarse en varios puntos del anillo, lo cual constituyó un importante avance en la química orgánica.

Los sueños son una cosa y realizar el trabajo duro es otra. Kekulé pasó muchas horas experimentando en su laboratorio y consiguió dar sentido a la química orgánica (la

química de los compuestos del carbono) y mostrar a toda la comunidad científica cómo clasificarlos en sus familias naturales. Sentía una fascinación especial por la flexibilidad del carbono para unirse con otros elementos químicos. El gas metano, que en aquella época se usaba ampliamente para iluminar y calentar, era denominado CH_4: un átomo de carbono unido a cuatro de hidrógeno. Dos átomos de oxígeno podían combinarse con uno de carbono para obtener CO_2, dióxido de carbono. Que estas preferencias atómicas no eran inalterables lo demuestra el hecho de que el carbono y el oxígeno podían combinarse en solitario para crear CO, el gas mortal conocido como monóxido de carbono.

Los químicos acuñaron una palabra para estos patrones de unión: «valencias». Descubrieron que podían deducirse a partir de la posición de cada elemento en la tabla periódica de Mendeléyev y se preguntaron a qué se debía, aunque no pudieron comprenderlo del todo hasta el descubrimiento en el ámbito de la física de la estructura interna del átomo y del electrón. El electrón relacionaba el átomo químico con el que estudiaban los físicos, y en el capítulo siguiente veremos cómo.



Dentro del átomo

A los químicos les gustaba el átomo, que era lo que participaba en las reacciones químicas y tenía una posición definida dentro de los compuestos. También tenía propiedades definidas por su lugar en la tabla periódica. Cada átomo tenía una tendencia natural a la negatividad o la positividad en su relación con otros átomos, y a los patrones de unión llamados «valencias». Los químicos distinguían entre un átomo individual y una molécula, es decir, una agrupación de átomos, y se dieron cuenta de que aunque algunos se conformaban con existir como átomos individuales, otros (como el hidrógeno y el oxígeno, por ejemplo) existían naturalmente de forma molecular (H_2 u O_2). Los pesos relativos de los átomos, con el hidrógeno siempre con el 1, también empezaron a medirse cada vez con más precisión.

Aun así, nada de todo esto proporcionaba muchas pistas a los químicos acerca de la estructura interna de los átomos. Podían manipularlos en sus laboratorios, pero no sabían mucho sobre lo que eran en realidad estas unidades de materia.

Durante gran parte del siglo XIX, los físicos se interesaron sobre todo en otros temas: cómo se conservaba la energía, cómo medir la electricidad y el magnetismo, la naturaleza del calor y por qué los gases se comportaban como lo hacían. La teoría física de los gases, denominada teoría cinética, también implicaba los átomos y las moléculas. Tanto los físicos como los químicos estaban de acuerdo en que, aunque la teoría atómica era extremadamente útil para explicar lo que observaban y medían, la verdadera naturaleza de los átomos resultaba difícil de entender.

La primera señal de que los átomos no eran sólo la unidad más pequeña de materia llegó con el crucial descubrimiento de uno de sus componentes, el electrón. Los experimentos ya habían demostrado que los átomos podían tener cargas eléctricas, puesto que al aplicar una corriente a una solución algunos átomos se desplazaban hacia el polo positivo y otros hacia el negativo. Los físicos no tenían tan claro que las propiedades eléctricas del átomo jugaran algún papel en las reacciones químicas. Aun así, midieron las cargas eléctricas y descubrieron que éstas aparecían en unidades definidas. Dichas unidades habían recibido el nombre de «electrones» en 1894, justo después de que J.J. Thomson (1856-1940) empezara a utilizar el tubo catódico en sus experimentos en Cambridge.

El tubo catódico es bastante sencillo. En realidad, es sorprendente que algo tan sencillo pudiera empezar a proporcionarnos información sobre la estructura fundamental del átomo y del universo. Se trataba de un tubo al que se le había extraído la mayor parte del aire, para crear un vacío parcial, y por cuyos extremos se insertaban electrodos. Al introducir una corriente eléctrica, ocurrían

toda clase de fenómenos interesantes, incluida la producción de rayos (radiaciones). Las radiaciones son oleadas de energía en forma de partículas, y las que se producían en el tubo catódico consistían sobre todo en partículas cargadas que se movían a gran velocidad. Thomson y sus colegas de los laboratorios Cavendish empezaron a medir la carga eléctrica y el peso de algunas de estas radiaciones, e intentaron establecer en qué sentido se relacionaban ambos resultados. En 1897 Thomson sugirió que estos rayos eran ondas de partículas subatómicas con carga eléctrica: trozos de átomos. Según sus cálculos pesaban tan sólo una fracción del más ligero de los átomos, el hidrógeno. Los físicos tardaron varios años en convenir que, sin duda, Thomson había descubierto el electrón, y que éste era la unidad de carga que tanto él como otros llevaban tanto tiempo midiendo.

Así pues, los átomos contienen electrones. ¿Qué más contienen? La respuesta se encontró de forma gradual a través de más experimentos con el tubo catódico. El vacío creado en su interior fue mejorando y, con ello, se abrió la posibilidad de atravesarlo con corrientes eléctricas más potentes. Entre quienes explotaron estos avances técnicos se encontraba un antiguo estudiante, colaborador y finalmente sucesor de Thomson en los laboratorios Cavendish de Cambridge, el neozelandés Ernest Rutherford (1873-1937). A finales de la década de 1890, Rutherford y Thomson identificaron dos clases de rayos proporcionadas por el uranio, un elemento que había adquirido gran importancia para los físicos.

Uno de los rayos de uranio podía doblarse en un campo magnético, el otro no. Sin saber lo que eran, Rutherford se

limitó a llamarlos rayos «alfa» y «beta», los nombres de las letras *a* y *b* en griego. La denominación se ha mantenido hasta la actualidad. Rutherford continuó experimentando con ellos durante décadas, y resultó que no sólo el uranio, sino un grupo entero de elementos emitía estos rayos. Dichos elementos generaron gran expectación en los primeros años del siglo XX, y siguen siendo muy importantes en la actualidad. Se trata de los elementos «radiactivos», los más comunes de los cuales son el uranio, el radio y el torio. Al investigar sus propiedades especiales, los científicos descubrieron datos fundamentales sobre la estructura atómica.

El rayo alfa resultó ser crucial. (También se lo conoce como «partícula alfa»: en el minúsculo y acelerado mundo de la física atómica, las distinciones a veces se desdibujan.) Rutherford y sus colegas los lanzaban contra placas de metal muy finas para observar qué ocurría. Por lo general, las partículas atravesaban las láminas, pero de vez en cuando rebotaban. Imagina la sorpresa de Rutherford al deducir lo qué sucedía. Era como si hubiera disparado una bola de cañón contra una hoja de papel y descubriera que había rebotado y caído a sus pies. Lo que significaba este resultado era que la partícula alfa se había topado con una parte muy densa de los átomos que componían la lámina de metal. Esta parte densa era el *núcleo* del átomo. Sus experimentos demostraban que la mayor parte del átomo consistía en espacio vacío, y ésa era la razón de que la mayoría de las partículas alfa los atravesaran. Sólo rebotaban al chocar con la masa extremadamente concentrada del núcleo central. Experimentos posteriores demostraron que el núcleo tiene una carga positiva. Los físicos empezaron a sospechar que

ésta se equilibra con la carga negativa del electrón, y que estos últimos dan vueltas por el espacio vacío que rodea el núcleo.

Rutherford, que en 1908 fue galardonado con el premio Nobel de química por sus descubrimientos, es considerado el fundador de la física nuclear. Los premios Nobel, que reciben el nombre de su fundador sueco, se convirtieron en el máximo galardón científico tras su establecimiento en 1901, y ganar uno sigue siendo el objetivo de muchos científicos ambiciosos. Rutherford tenía buen ojo para elegir colegas y estudiantes destacados, y varios de ellos también obtuvieron el Nobel.

El danés Niels Bohr (1885-1962) fue uno de ellos. Lo que hizo fue coger la idea de Rutherford de que la masa de los átomos está en su mayor parte comprimida en su pequeño núcleo y aplicó una nueva herramienta conocida como «física cuántica» para desarrollar algo que denominó «átomo de Bohr» en 1913. Se trataba de un modelo que visualizaba lo que ocurría en el interior del átomo, utilizando la mejor información de la que disponían los científicos en la época. Según este modelo, el átomo tenía una estructura similar a la de nuestro sistema solar; el Sol / núcleo se encontraba en el centro y los planetas / electrones giraban a su alrededor en órbitas. En el modelo de Bohr, el peso de los núcleos, de carga positiva, proporcionaba a los átomos su peso atómico, y en consecuencia su lugar en la tabla periódica. El núcleo estaba formado por «protones», cargados positivamente. Cuanto más pesado era un átomo, más protones había en su núcleo. El número de protones y electrones tenía que coincidir para que, en su conjunto, el átomo fuera neutro. Los electrones giraban alrededor del

núcleo en diferentes órbitas, y aquí es donde se introducía el concepto cuántico. Una de las partes más brillantes de todo el conjunto de conceptos que los científicos denominaban «física cuántica» era la idea de que, en la naturaleza, las cosas aparecen en paquetes definidos e individuales, los «cuantos» (en el capítulo 32 describiremos la historia del cuanto). Las cosas pueden definirse en términos de masa, energía o aquello que nos interese. En el modelo de Bohr, los electrones orbitan en estados cuánticos distintos y únicos. Los electrones más cercanos al núcleo se ven más atraídos hacia éste, mientras que los más alejados están menos atados a él, y son estos últimos los que pueden participar en las reacciones químicas o generar electricidad o magnetismo.

Si todo esto te parece algo difícil… bien, la verdad es que lo es. Bohr lo sabía, pero también sabía que su modelo permitiría a los físicos y químicos hablar el mismo lenguaje. Éste se basaba en experimentos físicos, pero también explicaba en profundidad lo que los químicos observaban en sus propios laboratorios. En particular, contribuía a explicar el comportamiento de los elementos de la tabla periódica, con sus distintos patrones de unión, o valencias. Aquellos que se agrupaban de forma individual lo hacían porque sólo disponían de un electrón «libre», mientras que otros tenían patrones diferentes debido al número de electrones «libres» que albergaban. Su modelo atómico se ha convertido en uno de los iconos modernos de la ciencia, aunque hoy en día sepamos que el átomo es mucho más complejo incluso de lo que creía Bohr.

Su teoría planteó todo tipo de cuestiones nuevas. En primer lugar, ¿cómo es posible que los protones, con su carga positiva, cohabiten en el reducido espacio del núcleo

atómico? Cargados de electricidad, los iguales se repelen y los opuestos se atraen (como ocurre con los imanes). Así pues, ¿por qué los protones no se rechazaban y los electrones no se unían? En segundo lugar, el átomo más ligero conocido era el hidrógeno, así que supongamos que el hidrógeno, con un peso atómico de 1, consiste en un solo protón y un electrón muy liviano. Eso significa que es razonable deducir que el protón tiene un peso atómico de 1. Entonces, ¿por qué los pesos atómicos de los átomos en la tabla periódica no aumentan a intervalos regulares, 1, 2, 3, 4, 5, etc.?

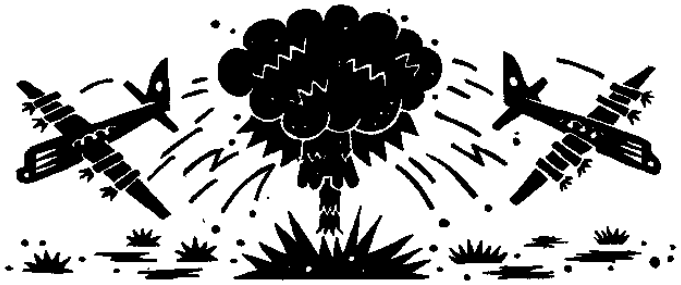
La posible respuesta a la primera cuestión tuvo que esperar al desarrollo de la mecánica cuántica. La segunda cuestión, relacionada con los saltos en la secuencia de pesos atómicos, la resolvió mucho antes otro de los colegas de Rutherford en Cambridge: James Chadwick (1891-1974). En 1932, Chadwick anunció los resultados de sus experimentos de bombardeo. Desde la época de Rutherford, este método había constituido un instrumento vital para que los físicos trabajaran con la estructura del átomo. Chadwick había lanzado ondas de partículas alfa contra su metal preferido, el berilio, y descubrió que en ocasiones, éste emitía una partícula con un peso atómico de 1 y sin carga. La designó con el término creado por Rutherford, neutrón, pero no tardó en darse cuenta de que no se trataba de la unión de un protón y un electrón, como había creído éste, sino de una partícula fundamental de la naturaleza. El neutrón era una especie de eslabón perdido para los físicos, que explicaba pesos atómicos desconcertantes y algunas posiciones en la tabla periódica. La representación de Mendeléyev de los elementos de la Tierra seguía demostrando su valor para

registrar los materiales básicos de nuestro planeta. El neutrón de Chadwick también propició el descubrimiento de los «isótopos». En ocasiones, los átomos de un mismo elemento tienen diferentes pesos atómicos; esto sucede cuando el número de neutrones, las partículas neutras del núcleo del átomo, también difieren. Así pues, los isótopos son átomos del mismo elemento con pesos atómicos distintos. El propio hidrógeno puede tener un peso atómico de 2 en lugar de 1, cuando a su único protón lo acompaña un neutrón. Chadwick recibió el premio Nobel por su descubrimiento de los neutrones y lo que podían hacer, tan sólo tres años después de descubrirlos.

El neutrón era una poderosa herramienta para bombardear el núcleo de otros átomos. Al carecer de carga tanto positiva como negativa, no era repelido de forma natural por los núcleos atómicos de carga fuertemente positiva, con sus protones agrupados con firmeza. Chadwick se dio cuenta de este hecho y vio que para romper un átomo, era necesaria una máquina que pudiera conferirles altas velocidades y energías: un ciclotrón o sincrotrón. Se trata de aparatos que utilizan campos magnéticos muy potentes para propulsar los átomos y sus partículas a una velocidad casi tan rápida como la de la luz. Para realizar esta clase de investigaciones, Chadwick abandonó Cambridge y fue a la Universidad de Liverpool, donde le proporcionaron fondos para construir un ciclotrón. Gracias a éste, pudo observar que al golpear átomos pesados como el del uranio con neutrones a alta velocidad, se generaban enormes cantidades de energía que, en caso de utilizarse, podían empezar una reacción en cadena que llevaría a un resultado trascendental: la «fisión atómica», es decir, la escisión del átomo. Las

bombas atómicas construidas y utilizadas a finales de la Segunda Guerra Mundial fueron el resultado de este trabajo, y Chadwick fue el líder del equipo británico que participó en el proyecto.

Hubo mucha gente que creyó que el descubrimiento del neutrón de Chadwick solucionaba el problema de la estructura de los átomos (la pieza fundamental del universo), pero se equivocaban. Aún quedaban muchas sorpresas por descubrir. Aun así, la comprensión a un nivel básico del electrón, el protón y el neutrón había permitido a los físicos entrar en contacto con varios tipos de ondas y partículas, como los rayos alfa, beta y gamma. Asimismo, se habían visto enfrentados a otros fenómenos misteriosos, como los rayos X y el descubrimiento de que la naturaleza realiza intercambios en esos pequeños paquetes llamados cuantos. Física nuclear y física cuántica: éstos fueron los campos más innovadores del conocimiento durante gran parte del siglo XX.



Radiactividad

¿Alguna vez te has roto un hueso o te has tragado algo por error? Si es así, lo más seguro es que te hayan hecho una radiografía para que un médico pudiera ver el interior de tu cuerpo sin tener que abrirlo. Hoy en día, las radiografías se han convertido en algo rutinario, pero a finales del siglo XIX causaron sensación. Los rayos X fueron el primer tipo de radiación que se utilizó, antes incluso de que se entendiera por completo el concepto de radiación. La radiactividad y la bomba atómica vinieron después.

En Alemania, a los rayos X aún se les llama en ocasiones «rayos Röntgen», en referencia a Wilhelm Röntgen (1845-1923). Él no fue el primero en darse cuenta de su potencial, pero sí en ser consciente de lo que había visto. La ciencia a menudo funciona de este modo: no basta con limitarse a ver, hay que entender lo que uno está mirando.

En la década de 1890, Röntgen, igual que muchos otros físicos (¿recuerdas a J.J. Thomson?), trabajaba con el tubo de rayos catódicos. El 8 de noviembre de 1895 se dio cuenta de que, a cierta distancia del tubo, una placa fotográfica había quedado misteriosamente velada. Estaba cubierta de papel

negro, y en aquella época los científicos creían que los rayos catódicos no tenían efecto a tanta distancia. Röntgen dedicó las siguientes seis semanas a descubrir lo que había ocurrido. Otros científicos habían observado lo mismo, pero no habían hecho nada al respecto. Él descubrió que estos nuevos rayos se desplazaban en línea recta y no se veían afectados por los campos magnéticos. A diferencia de la luz, no se reflejaban ni se curvaban al atravesar una lente de cristal, pero sí podían penetrar materiales sólidos… ¡como la mano de su mujer! Fue ella quien posó para la primera imagen de rayos X, en la que su alianza de boda era claramente visible sobre los huesos de sus dedos. Al no saber con exactitud qué eran estos rayos, Röntgen se limitó a llamarlos «rayos X». Tras seis semanas de duro trabajo, expuso sus resultados al mundo.

Los rayos X tuvieron un éxito inmediato. Enseguida se reconocieron sus aplicaciones médicas para diagnosticar huesos rotos o localizar balas u otros objetos que no deberían estar alojados en el cuerpo humano. Hay pocas cosas que hayan sido aceptadas con tal rapidez por el público en general. No tardaron en ponerse a la venta piezas de ropa interior «resistentes a los rayos X», mientras los físicos debatían qué eran exactamente. Tras más de una década de investigaciones, se demostró que los rayos X eran una clase de radiación con una longitud de onda inusualmente corta y altos niveles de energía. Ya desde el principio, los trabajadores del laboratorio se dieron cuenta de que los rayos X podían dañar la carne humana y provocar quemaduras, y algunos de los primeros investigadores murieron debido a la radiación o de cáncer hematológico, leucemia. Al tiempo que eran capaces de curar el cáncer, los

rayos X también podían causarlo.

Mientras Röntgen trabajaba con ellos, se descubrió otra forma de radiación, la radiactividad, en esta ocasión en Francia. Henry Becquerel (1852-1908) estaba estudiando la fluorescencia, el fenómeno por el que algunas sustancias brillan o emiten luz de forma natural. En su trabajo utilizaba un compuesto de uranio que provocaba justo ese efecto. Al descubrir que este compuesto afectaba a las placas fotográficas, igual que los rayos X de Röntgen, supuso que había descubierto otra fuente de este misterioso rayo. Pero en 1896 vio que este rayo no se comportaba como el de Röntgen; se trataba de otro tipo de radiación, sin los espectaculares efectos de los rayos X, que podían atravesar la ropa o la piel, pero que aun así merecía ser analizada.

En París, un famoso matrimonio de físicos, Pierre y Marie Curie (1859-1906 y 1867-1934), aceptaron el reto. En 1898 los Curie consiguieron una tonelada de pechblenda, un material parecido al alquitrán que contiene cierta cantidad de uranio. Mientras extraían su uranio relativamente puro, la radiactividad les quemó las manos. También descubrieron dos nuevos elementos radiactivos, a los que denominaron torio y polonio, este último en honor a la patria de Marie, Polonia. Puesto que estos elementos tenían propiedades similares al uranio, científicos de todo el mundo presionaron para descubrir más cosas acerca de estos potentes rayos: los rayos beta (ondas de electrones), los rayos alfa (que en 1899 Rutherford había demostrado que eran átomos de helio sin electrones, y en consecuencia con carga positiva) y los rayos gamma (sin carga, pero que más tarde se demostró que poseían radiación electromagnética similar a la de los rayos X). La dedicación de los Curie a la ciencia fue

verdaderamente heroica. Tras la muerte de Pierre en un accidente en la calle, Marie continuó con su trabajo, a pesar de tener dos hijos a los que criar.

La antigua promesa de la alquimia, la de ver cómo un elemento se transformaba en otro, casi se vio cumplida por el descubrimiento de la radiactividad. *Casi*, porque el sueño de los alquimistas era transformar el plomo o algún otro metal básico en oro, y lo que hacía la radiactividad era convertir el uranio en plomo, ¡un metal valioso en uno básico! Aun así, la naturaleza podía hacer aquello que los alquimistas sólo habían soñado.

Igual que los rayos X, la radiactividad tenía importantes aplicaciones médicas. El radio, otro elemento radiactivo descubierto por Marie Curie, tenía un valor especial, puesto que sus rayos eran capaces de eliminar las células cancerígenas. Pero, igual que sucedía con los rayos X, la radiactividad también provoca cáncer si la dosis es demasiado alta. Muchos de los primeros investigadores, entre ellos la propia Marie Curie, murieron debido a los efectos de la radiación, antes de que se crearan los protocolos de seguridad apropiados. Su hija Irène recibió su propio premio Nobel por su trabajo en el mismo campo, y murió a temprana edad del cáncer de sangre que también había matado a su madre.

El uranio, el torio, el polonio y el radio son naturalmente radiactivos. ¿Qué significa eso? Estos elementos radiactivos son lo que los físicos denominan «pesados», lo que quiere decir que su núcleo está muy apretado y eso los vuelve inestables. Es precisamente esta inestabilidad lo que identificamos como rayos radiactivos. Se le dio el nombre de «desintegración radiactiva» porque, al desprenderse las

partículas, el elemento se desintegraba literalmente y se convertía en otro distinto, que ocupaba un lugar diferente en la tabla periódica. El estudio meticuloso de esta desintegración prosiguió con el trabajo vital de rellenar los huecos de la tabla periódica.

También proporcionó un modo muy valioso de datar eventos de la historia de la Tierra, un procedimiento denominado «datación radiométrica». Ernest Rutherford también fue un pionero en este campo, pues ya en 1905 apuntó que esta técnica permitiría determinar la antigüedad de la Tierra. Los físicos calcularon cuánto tardaría la mitad de los átomos de un elemento radiactivo (el uranio, por ejemplo) en desintegrarse hasta alcanzar el producto final, la diferente versión del elemento (en este caso, plomo). A este periodo de tiempo se lo denominó la «vida media» del elemento, y puede abarcar desde unos segundos hasta millones de años. Una vez conocida la vida media de un elemento, los científicos podían datar un acontecimiento observando un fósil o una roca (cualquier muestra producida de forma natural) para ver la proporción existente del elemento original y del elemento producto de la desintegración. La diferencia entre ambos les indicaba los años que tenía la muestra. Hay una forma poco usual de carbono que es naturalmente radiactiva, y su vida media puede utilizarse para datar los restos fósiles de animales y plantas que una vez estuvieron vivos. A lo largo de su existencia, todos los seres vivos absorben carbono, proceso que se interrumpe al morir. Así que al medir la cantidad de carbono radiactivo en los fósiles es posible obtener la fecha de su formación. La datación radiométrica utiliza el mismo principio para datar rocas, lo que proporciona un marco

temporal mucho más amplio. Esta técnica ha transformado el estudio de los fósiles, pues ahora ya no sabemos tan sólo si son más antiguos o más recientes que otros, sino que podemos calcular su edad aproximada.

Los físicos no tardaron en darse cuenta de las enormes cantidades de energía implicadas en las emisiones radiactivas. Los elementos naturalmente radiactivos, como el uranio, y las formas radiactivas de elementos comunes, como el carbono, son escasos. Pero al bombardear átomos con partículas alfa o neutrones, es posible conseguir de manera artificial que muchos elementos emitan energía radiactiva. Esto no hace más que probar la cantidad de energía que se acumula en el núcleo del átomo. A lo largo de los últimos cien años, los físicos han aunado sus esfuerzos para averiguar el modo de usar este potencial.

Al bombardear un átomo y hacer que se desprenda una partícula alfa de su núcleo, lo estás «rompiendo» y convirtiendo en un elemento distinto. Es lo que se denomina *fisión* nuclear: el núcleo ha perdido dos protones. El proceso inverso, la *fusión* nuclear, tiene lugar cuando un átomo absorbe una partícula y ocupa un nuevo lugar en la tabla periódica. Tanto la fisión como la fusión liberan energía. Fue a finales de la década de 1930 cuando un grupo de físicos alemanes y austríacos, entre ellos Lise Meitner (1878-1968), descubrió la posibilidad de la fusión nuclear. Nacida judía, Meitner se había convertido al cristianismo, pero aun así tuvo que huir de la Alemania nazi en 1938. Analizó la fusión de dos átomos de hidrógeno para formar uno de helio, el siguiente elemento de la tabla periódica. A través del estudio del Sol y de otras estrellas, se demostró que la conversión del hidrógeno en helio era la fuente principal de energía

estelar. (El helio se descubrió antes en el Sol que en la Tierra: sus átomos muestran unas longitudes de onda características al ser examinados con un instrumento llamado espectroscopio.) Para que se produzca esta reacción son necesarias elevadas temperaturas, y en la década de 1930 no era posible hacerlo en un laboratorio. Pero, en teoría, se podía fabricar una bomba de hidrógeno (una bomba de fusión) que liberaría una enorme cantidad de energía al explotar.

En aquel momento, la alternativa (la bomba atómica o de fisión) era más viable. A medida que los nazis proseguían sus ataques sobre Europa, la guerra parecía cada vez más probable. En varios países, incluida Alemania, los científicos trabajaban en secreto en la preparación de esas devastadoras armas. En esta horripilante danza hacia la guerra total, fue crucial el trabajo del físico italiano Enrico Fermi (1901-1954). Fermi y su grupo demostraron que al bombardear átomos con electrones «lentos» se conseguiría la deseada fisión nuclear. Los electrones lentos atravesaban una lámina de queroseno (o una sustancia similar) de camino al átomo que era su objetivo. A esta velocidad reducida cabían más posibilidades de que los neutrones se alojaran en el núcleo y produjeran su ruptura. Fermi abandonó Italia en 1938 para escapar del régimen fascista, que simpatizaba con los nazis. Se dirigió a Estados Unidos, igual que la mayoría de los científicos, escritores, artistas y pensadores más creativos en esa época. Hoy en día nos referimos a veces a la «fuga de cerebros», que significa que las mejores mentes abandonan su hogar en busca de mejores condiciones de trabajo en otros países: más dinero, un laboratorio mayor, mejores oportunidades para vivir su vida como desean. A finales de

la década de 1930 y principios de la de 1940, la gente huía porque la habían echado de sus trabajos y temía por su vida. Los nazis y los fascistas cometieron actos terribles. También cambiaron el rostro de la ciencia, y Reino Unido y Estados Unidos se llevaron la mejor parte de esta fuga de cerebros.

En Estados Unidos muchos de los refugiados se unieron al proyecto Manhattan, de alto secreto, uno de los proyectos científicos más caros acometidos nunca, pero se trataba de una época cada vez más desesperada. A finales de 1930, los significativos avances en la comprensión de los elementos radiactivos convencieron a muchos científicos de que podían generar una explosión nuclear. Lo difícil era controlarla. Había quien pensaba que era demasiado peligroso: la reacción en cadena resultante podía volar todo el planeta. Al declararse la guerra en 1939, los físicos de Reino Unido y Estados Unidos creían que los alemanes y los japoneses no cejarían en su empeño de construir una bomba atómica, y que los aliados debían hacer lo mismo. Un grupo de científicos escribió una carta al presidente estadounidense, Franklin Roosevelt, en la que le apremiaban a que autorizara una respuesta aliada. Entre ellos se encontraba Albert Einstein, el científico más conocido del mundo y también refugiado de la Alemania nazi.

Roosevelt accedió. Los numerosos componentes del funesto paso se coordinaron en localizaciones de Tennessee, Chicago y Nuevo México. El proyecto Manhattan se llevó a cabo bajo procedimientos militares. Los científicos interrumpieron la publicación de sus hallazgos y dejaron a un lado el valor central de la ciencia: la transparencia y el intercambio de información. La guerra altera los valores humanos. El secreto no se compartió ni siquiera con la Rusia

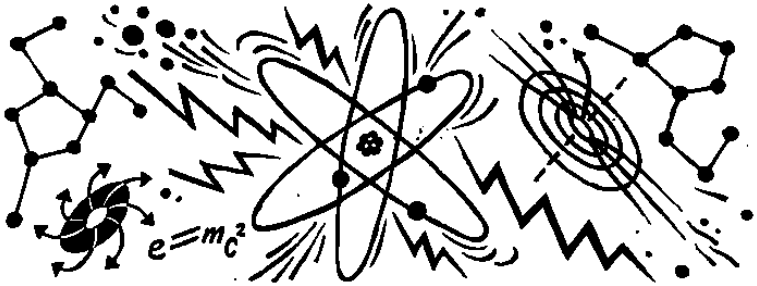
comunista, un aliado fundamental de Estados Unidos y Reino Unido, pero en el que aún no se confiaba en lo referente a las bombas de alto secreto. En 1945 los esfuerzos alemanes, japoneses y rusos para construir bombas atómicas seguían sin dar resultados, aunque uno de los científicos estadounidenses proporcionaba en secreto información a los rusos. En cambio, el proyecto Manhattan había producido dos bombas, una de las cuales usaba uranio y la otra, plutonio, un elemento radiactivo creado por el hombre. Se llevó a cabo una explosión controlada de una bomba más pequeña en el desierto estadounidense. Las bombas estaban listas para ser utilizadas.

Alemania se rindió el 8 de mayo de 1945, así que no se lanzó ninguna bomba en Europa. Sin embargo, Japón continuó con sus ataques en el Pacífico. El nuevo presidente de Estados Unidos, Harry Truman, ordenó que se lanzara la bomba de uranio sobre la ciudad japonesa de Hiroshima el 6 de agosto. La detonación se produjo al lanzar una pieza de uranio contra otra. Aun así, los japoneses no se rindieron. Tres días después, Truman ordenó que se lanzara la bomba de plutonio sobre otra ciudad japonesa, Nagasaki. Este suceso puso punto final a la guerra: las bombas habían matado a unas trescientas mil personas, en su mayoría civiles, y los japoneses se rindieron. Nuestro mundo había cambiado para siempre. Muchos de los científicos responsables de estas armas de destrucción masiva sabían que sus logros habían permitido el fin de una terrible guerra, pero les preocupaba lo que habían creado.

El increíble poder de la energía atómica sigue siendo importante en la actualidad, igual que sus peligros. Después de la Segunda Guerra Mundial, la desconfianza entre Rusia y

Estados Unidos se prolongó y desembocó en la Guerra Fría. Ambos países construyeron enormes depósitos de armas atómicas o nucleares. Por suerte, aún no han sido utilizadas en un enfrentamiento, y aunque los arsenales se han reducido con el paso de los años gracias a diversos acuerdos, el número de países que disponen de armas nucleares ha aumentado.

Los hallazgos físicos llevados a cabo por el proyecto Manhattan también se han usado para producir una liberación de energía más controlada. La energía nuclear puede generar electricidad con tan sólo una fracción de los gases invernadero que se liberan al quemar carbón u otros combustibles fósiles. Francia, por ejemplo, genera tres cuartas partes de sus recursos eléctricos a través de la energía nuclear. Pero el peligro de accidentes y los riesgos derivados del terrorismo han suscitado un gran temor hacia la energía nuclear, a pesar de sus beneficios. Hay pocas cosas en la ciencia y la tecnología modernas que ilustren mejor la diversidad de valores políticos y sociales que la pregunta: ¿qué deberíamos hacer con nuestros conocimientos sobre la energía nuclear?



El visionario

Einstein

Albert Einstein (1879-1955) es conocido por su mata de pelo blanco y sus teorías sobre la materia, la energía, el espacio y el tiempo. Y por la ecuación $E = mc^2$. Es probable que sus ideas resulten aterradoramente difíciles de entender, pero cambiaron nuestra forma de pensar el universo. En una ocasión le preguntaron qué aspecto tenía su laboratorio; como respuesta, se sacó la estilográfica del bolsillo. La causa era que Einstein era un pensador, no un hacedor. Trabajaba ante un escritorio o una pizarra, más que a la mesa de un laboratorio.

Aun así, le hacía falta la clase de información que se obtiene a través de los experimentos, y en particular confiaba en el trabajo del físico alemán Max Planck (1858-1947). Planck era un pensador y un experimentador. Tenía unos cuarenta años cuando realizó su descubrimiento más relevante, en la Universidad de Berlín. En la década de 1890 había empezado a trabajar con bombillas en un intento por obtener una bombilla que proporcionara el máximo de luz utilizando el mínimo de electricidad. En sus experimentos aplicaba la idea de un «cuerpo oscuro», un objeto hipotético

que absorbe toda la luz que se proyecta sobre él y no refleja ninguna. Piensa en el calor que tienes si llevas una camiseta negra cuando hace sol, y lo fresco que se siente uno al llevar una blanca: la tela negra absorbe la energía de la luz solar. Así pues, el cuerpo oscuro absorbe la energía procedente de la luz, pero es imposible que la almacene toda, así que, ¿cómo la proyecta hacia el exterior?

Planck sabía que la cantidad de energía absorbida dependía de la longitud de onda (frecuencia) propia de la luz. Tomó meticulosas medidas de la energía y la longitud de onda y las introdujo en la ecuación matemática E = hv. La energía (E) es igual a la frecuencia de la longitud de onda (v) multiplicada por un número constante (una constante), h. En esta ecuación, el resultado de la energía producida que medía Planck era siempre un número entero, no una fracción, lo cual era importante, porque eso significaba que la energía venía en pequeños paquetes individuales. A cada uno de estos paquetes los denominó «cuantos», que tan sólo significa una cantidad. Su trabajo se publicó en 1900 e introdujo la idea del cuanto en el nuevo siglo. La física y el modo en que comprendemos nuestro mundo nunca ha sido el mismo desde entonces. La cifra fija (h) se bautizó como «constante de Planck» en su honor. Su ecuación resultó ser tan importante como la más conocida de Einstein, $E = mc^2$.

Algunos físicos tardaron un tiempo en apreciar la verdadera relevancia de los experimentos de Planck; Einstein, sin embargo, se dio cuenta enseguida de su significado. En 1905 trabajaba en la oficina de patentes de Zúrich y se dedicaba a la física en su tiempo libre. Ese año, publicó tres artículos que le proporcionaron su fama. El primero, por el que le otorgaron el premio Nobel en 1921,

llevaba el trabajo de Planck a un nuevo nivel. Einstein le dio vueltas a la radiación del cuerpo oscuro de Planck y siguió el enfoque del novedoso cuanto. Tras mucha reflexión, demostró a través de unos brillantes cálculos que sin duda la luz se transmitía en pequeños paquetes de energía. Estos paquetes se movían de forma independiente unos de otros a pesar de que juntos formaban una onda. Se trataba de una afirmación sorprendente, puesto que desde Thomas Young, un siglo antes, los físicos habían analizado la luz en muchas situaciones experimentales como si fuera una onda continua. No cabe duda de que por lo general se comportaba de ese modo, y aquí estaba este joven y aún desconocido trabajador de la oficina de patentes que decía que la luz podía ser una partícula: un fotón, o cuanto de luz.

El siguiente artículo de Einstein, publicado en 1905, fue igualmente revolucionario. En él introdujo su teoría de la relatividad especial, que demostraba que todo movimiento es relativo, es decir, que sólo puede medirse en relación con otra cosa. Se trata de una teoría muy compleja, pero si se aplica la imaginación puede explicarse con bastante sencillez. (Einstein tenía un don para reflexionar a fondo sobre datos conocidos y preguntarse: ¿qué pasaría si…?) Imagínate que un tren está saliendo de la estación. En el centro de uno de los vagones hay una bombilla que se enciende y se apaga, y manda un rayo exactamente al mismo tiempo hacia delante y hacia atrás, que se refleja en un espejo colgado en cada extremo del vagón. Si estuvieras de pie justo en el centro del vagón, verías como la luz se refleja en ambos espejos al mismo tiempo. Pero alguien que estuviera en el andén mientras en el tren pasa, vería los rayos uno tras otro. Aunque ambos rayos alcanzan el espejo

de forma simultánea, el tren se mueve hacia delante, de modo que desde el andén se vería antes el rayo del espejo más alejado (el de la parte delantera del vagón) que el del espejo más cercano (en la parte de atrás). Así pues, aunque la velocidad de la luz sigue siendo la misma, el momento en que se ve difiere dependiendo de (o mejor, en relación con) si el observador está en movimiento o quieto. Einstein sostenía (por supuesto, con la ayuda de algunas complejas ecuaciones) que el tiempo es una dimensión fundamental de la realidad. A partir de entonces, los físicos deberían tener en cuenta no sólo las tres dimensiones espaciales ya conocidas (longitud, anchura y altura), sino también el tiempo.

Einstein demostró que la velocidad de la luz es constante, no importa si se aleja o se acerca a nosotros. (La velocidad del sonido funciona de forma distinta, lo cual explica por qué un tren suena diferente según se acerque a nosotros o se aleje.) Así que la relatividad en la teoría de la relatividad especial no se aplica a la velocidad constante de la luz, sino que se da en los observadores y en el hecho de que esté implicado el tiempo. El tiempo no es absoluto, sino relativo; cambia cuanto más rápido viajamos y lo mismo hacen los relojes que lo miden. Hay un viejo relato en el que una astronauta se desplaza casi a la velocidad de la luz y, al volver de la Tierra, descubre que el tiempo se ha adelantado. Toda la gente que conocía ha envejecido y muerto. Ella no es mucho mayor de lo que era al partir, pero como su reloj se ha ralentizado no es consciente de cuánto tiempo ha pasado fuera. (Se trata de un experimento mental, que sólo podría ocurrir en los libros de ciencia ficción.)

Como si todo esto no fuera suficiente, la famosa

ecuación $E = mc^2$ relacionaba la masa (m) y la energía (E) de una forma nueva. La c es la velocidad de la luz. En efecto, lo que hizo Einstein fue demostrar que la masa y la energía eran dos aspectos de la materia. La velocidad de la luz es una cifra muy alta y elevada al cuadrado, lo que aún la hace mayor, por lo que si una pequeña cantidad de masa se convierte por completo en energía, la cantidad de esta última será muy grande. Incluso las bombas atómicas convierten una diminuta fracción de masa en energía. Si la masa de tu cuerpo se convirtiera toda ella en energía, tendría la fuerza de quince enormes bombas de hidrógeno. Pero no lo pruebes, ¿eh?

Durante los años siguientes, Einstein amplió sus pensamientos y en 1916 estableció un nuevo marco para el universo: la teoría de la relatividad general, que presentaba sus ideas sobre la relación entre gravedad y aceleración, y la estructura del espacio. En ella demostraba que, de hecho, la gravedad y la aceleración eran equivalentes. Imagínate que estás en un ascensor y dejas caer una manzana: ésta caerá sobre el suelo del ascensor. Ahora, si sueltas la manzana justo en el momento en que alguien corta el cable del ascensor, caerás junto con la manzana. De hecho ésta no se moverá en relación contigo, puesto que ambos caeréis juntos. En cualquier momento puedes alargar la mano y agarrarla, ya que mientras el ascensor siga cayendo, nunca llegará al suelo. Por supuesto, esto es lo que sucede en el espacio, donde no existe gravedad. Los astronautas y sus naves se encuentran básicamente en caída libre.

La teoría de la relatividad general demostraba que el espacio, o mejor el espacio-tiempo, era curvo. Además, predecía diversos aspectos desconcertantes que los físicos

habían tenido dificultades para explicar. Eso sugería que la luz se doblaría levemente al pasar junto a un cuerpo grande, debido a que ésta (formada por fotones) tiene masa, y el cuerpo más grande ejercería una fuerza gravitacional sobre la masa de luz, más pequeña. Las mediciones efectuadas durante un eclipse de Sol mostraban que eso era lo que ocurría en realidad. La teoría de Einstein también explicaba algunos aspectos curiosos de la órbita de Marte alrededor del Sol, que las leyes de la gravedad de Newton, menos complejas, no habían podido interpretar.

Einstein había trabajado con lo muy pequeño (los diminutos fotones de luz) y lo muy grande (el propio universo), y proporcionó un convincente y novedoso modo de relacionar ambos mundos. Con ello contribuyó a la teoría cuántica al tiempo que presentaba sus propias ideas sobre la relatividad. Estas ideas, igual que las matemáticas que las apoyaban, ayudaron a definir el modo en que los físicos pensaban tanto en el mundo micro como en el macro. Pero Einstein no estaba de acuerdo con muchas de las nuevas direcciones que estaba adoptando la física. Nunca perdió de vista su certeza de que el universo (con sus átomos, electrones y otras partículas) está atrapado en un sistema de causa y efecto. Como él decía: «Dios no juega a los dados». Eso significaba que las cosas siempre ocurrían según patrones regulares y predecibles. No todo el mundo estaba de acuerdo, y otros físicos que se basaron en las ideas cuánticas de Planck llegaron a otras conclusiones.

El electrón era el eje central de la mayor parte de los primeros trabajos sobre el cuanto. En el capítulo 30 explicamos el modelo de átomo cuántico de Niels Bohr, que data de 1903. En él, los electrones se desplazaban en órbitas

fijas con energías definidas, zumbando alrededor del núcleo central. Se habían llevado a cabo muchos estudios para expresar estas relaciones de forma matemática, pero las matemáticas ordinarias no servían. Para solucionar el problema, los físicos adoptaron las matemáticas de matrices. En las matemáticas ordinarias, 3 × 2 equivale a 2 × 3. En las matemáticas de matrices no ocurre lo mismo, y este instrumento especial permitió al físico austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961) desarrollar nuevas ecuaciones en 1926. Sus ecuaciones de ondas describían el comportamiento de los electrones en las órbitas exteriores del átomo, y constituyeron el comienzo de la física cuántica. Significaron para el micromundo lo que Newton había significado para el macro. Igual que muchos de los físicos que cambiaron nuestra forma de pensar el universo a principios del siglo XX, Schrödinger se vio obligado a huir de los nazis y pasó los años de la guerra en Dublín. Como ya sabemos, Einstein fue a Estados Unidos.

Las ecuaciones de onda permitieron poner un poco de orden en el esquema, y entonces, en 1927, Werner Heisenberg introdujo el «principio de incertidumbre», en parte filosófico y en parte experimental. Heisenberg afirmaba que el mero hecho de experimentar con los electrones produce un cambio en ellos, lo cual establece un límite a lo que podemos saber. Es posible determinar el impulso de un electrón (su masa multiplicada por su velocidad) o su posición, pero no ambas cosas a la vez: al medir una, se producía un efecto sobre la otra. Einstein, entre otros, se horrorizó ante esta idea, y decidió refutar el principio de incertidumbre de Heisenberg. Fue incapaz, y admitió su derrota. El principio ha permanecido intacto

hasta nuestros días: sencillamente, existen límites a nuestro conocimiento del micromundo.

El electrón fue también el eje central del trabajo de Paul Dirac (1902-1984), un físico inglés de personalidad compleja al que se consideraba casi otro Einstein. Su libro de mecánica cuántica fue la referencia durante tres décadas, y sus propias ecuaciones sobre la actividad cuántica de los átomos y las partículas subatómicas eran de una extraordinaria sagacidad. El problema es que éstas requerían de una extraña partícula (un electrón con carga positiva) para funcionar, lo que significaba que tanto la materia como la antimateria existían. Toda la idea de antimateria era extravagante, puesto que la materia es el material sólido del universo. Al cabo de unos años, la búsqueda de esa partícula tuvo éxito y se descubrió el «positrón», un gemelo del electrón con una única carga positiva. Combinado con un electrón, producía un estallido de energía, y luego ambas partículas desaparecían. La materia y la antimateria podían aniquilarse mutuamente en un abrir y cerrar de ojos.

El positrón demostró a los físicos que los átomos estaban compuestos de algo más que de protones, electrones y neutrones. Más adelante estudiaremos estos descubrimientos con más profundidad, después de que los físicos produjeran energías crecientes para examinar sus átomos y partículas. «Examinar» tal vez no sea el término adecuado. Al trabajar con energías muy altas, los físicos no pueden ver directamente lo que sucede en sus experimentos; en su lugar, ven puntos en la pantalla de un ordenador o detectan cambios en el magnetismo o la energía de la situación original. Pero tanto las bombas atómicas como la energía atómica como incluso la posibilidad del cálculo cuántico

testifican el misterio y el poder de la naturaleza, aunque no podamos verlo.

El paquete o cuanto de energía de Max Planck, la deducción de Einstein de que la materia y la energía son tan sólo dos aspectos de una misma cosa: estos descubrimientos cambiaron para siempre nuestro modo de entender el universo. Masa y energía, onda y partícula, tiempo y espacio: la naturaleza había demostrado que era «esto, y también esto otro» y no «esto, pero no esto otro». Y mientras todo eso contribuía a explicar la estructura de los átomos y la creación del universo, también sirve para ayudarte a llegar a casa por la noche. Los satélites están tan por encima de la Tierra que los GPS tiene que incorporar la relatividad especial; de otro modo, no tardarías en perderte.

Continentes en movimiento

Los terremotos son mortíferos y aterradores. Mortíferos debido a la destrucción a gran escala que provocan, y aterradores porque el suelo no debería moverse bajo nuestros pies. Y aun así, lo hace, sin parar, aunque la mayor parte del tiempo no se vea ni se sienta. Como en gran parte de la ciencia, para entender la estructura de la Tierra hay que medir lo que no se ve ni se siente… y convencer a los demás de que tienes razón. Porque lo cierto es que los continentes y los lechos marinos se mueven bajo nosotros.

La parte de la historia de la Tierra que experimentamos a lo largo de nuestra vida es una diminuta foto, el más pequeño de los momentos en un proceso muy largo. Los geólogos utilizan técnicas científicas, pero también tienen que usar su imaginación para pensar con originalidad. Todos los buenos científicos lo hacen, aunque trabajen en un laboratorio, y comparan sus ideas con las pruebas que obtienen.

Los geólogos del siglo XIX utilizaban las técnicas tradicionales: hallazgo de fósiles, análisis y clasificación de rocas, estudio de los efectos de terremotos y volcanes. Luego

entretejían todos estos datos para elaborar una historia de la Tierra razonable. Mucho de lo que descubrieron sigue vigente hoy en día, pero había cierto número de problemas que se les atragantaban y necesitaban una especie de nueva idea genial. Los antiguos «catastrofistas» se habían apoyado en la idea de que existían distintos tipos de fuerzas, o incluso intervenciones milagrosas, grandes inundaciones como la de Noé, que se describe en la Biblia. Ahora, el foco se centraría en el tiempo, inmensos periodos de tiempo denominados «tiempo profundo». ¿Cómo era la Tierra hace doscientos millones de años, o dos o tres veces ese número?

¿En qué medida podía el tiempo profundo ayudar a resolver tres cuestiones clave? La primera, ¿por qué daba la sensación de que era posible recortar los principales continentes de los océanos y pegarlos, como piezas de un enorme rompecabezas? La costa este de Suramérica encajaba bastante bien con la costa oeste de África. ¿Se trataba de una casualidad?

En segundo lugar, ¿por qué las formaciones rocosas de Suráfrica eran tan similares a las encontradas en Brasil, al otro lado del océano Atlántico? ¿Por qué en una isla tan pequeña como Gran Bretaña había diferencias tan ostensibles entre las Highlands de Escocia, con sus riscos y lagos, y las onduladas planicies del Weald de Sussex, en el sur? Es más, ¿había estado siempre Gran Bretaña separada de las tierras continentales europeas? ¿O Alaska de Asia?

En tercer lugar, existían algunos patrones desconcertantes en la localización de plantas y animales. ¿Por qué algunas especies de caracol se encontraban tanto en Europa como al este de Norteamérica, pero no en el otro extremo del continente americano, hacia el oeste? ¿Por qué

los marsupiales australianos eran tan distintos de los encontrados en otras partes? En la década de 1850, Darwin y Wallace fueron los primeros en proporcionar algunas respuestas, y la teoría de la evolución explicaba bastantes cosas. Darwin llevó a cabo algunos experimentos apestosos, como conservar semillas en tubos de agua de mar en su estudio durante meses. Lo que buscaba era crear el mismo entorno que se genera en un largo viaje marítimo. Luego las plantaba para ver si podían germinar y crecer. En ocasiones lo hacían, lo cual proporcionaba una respuesta. Darwin también encontró el modo de averiguar si los pájaros podían transportar semillas, insectos u otros seres vivos a lo largo de grandes distancias y descubrió que sí, pero eso no daba respuesta a todos los interrogantes.

Había una idea que, aunque radical, permitía explicar bastantes cosas. Se trataba de la teoría de que los continentes no siempre habían estado en el lugar donde se encuentran hoy, o que en una época habían estado unidos por franjas de tierra, «puentes de tierra». Muchos geólogos de finales del siglo XIX creían que en algún momento habían existido puentes de tierra en varias partes del mundo. Había pruebas de que en el pasado, Gran Bretaña había estado conectada con el continente europeo, lo cual explicaría de forma efectiva por qué se encontraban allí huesos fosilizados de osos, hienas y otros animales que era imposible encontrar en Gran Bretaña en la actualidad. También Norteamérica había estado conectada con Asia a través del estrecho de Bering, que sin duda habían cruzado algunos animales y los nativos americanos. Parecía menos probable que hubieran existido puentes de tierra entre África y Suramérica, pero el eminente geólogo austríaco Eduard Suess (1861-1914) trató

de demostrarlo en su extensa obra de cinco volúmenes sobre la Tierra, publicada entre 1883 y 1909. Según él, era la constante elevación y caída de las superficies de la Tierra a lo largo de la historia geológica la que lo hacía posible; así, lo que en aquel momento era un lecho marino, en una época había conectado ambos continentes.

Su explicación no convenció a todo el mundo, a pesar de los cinco volúmenes. A continuación entró en escena el alemán Alfred Wegener (1880-1930), interesado a partes iguales en la historia de la climatología terrestre y en su geología. En 1912 dio una conferencia en la que expuso su teoría sobre el movimiento de los continentes, lo que se llamaría «deriva continental». En 1915 la conferencia se convirtió en un libro y Wegener dedicó el resto de su vida a buscar más pruebas que la demostraran. Murió en el intento mientras dirigía una expedición a Groenlandia. La radical propuesta de Wegener era que, unos doscientos millones de años atrás, sólo existía un vasto continente, Pangea, rodeado por un extenso océano. Este enorme continente se había ido dividiendo de forma gradual y sus distintas partes flotaron en el océano, como ocurre con los icebergs. Pero a diferencia de éstos, que pueden fundirse y desaparecer, las distintas partes de Pangea se convirtieron en nuevos continentes. Y la cosa no acababa ahí. Wegener creía que las masas de tierra seguían en movimiento, a razón de unos tres metros por año. Sin duda se trataba de una estimación demasiado alta, pues las mediciones más recientes indican un desplazamiento de tan sólo unos milímetros al año. Pero cualquier suceso que se perpetúa a lo largo de un periodo de tiempo lo bastante largo acaba produciendo resultados dramáticos.

Wegener tenía algunos seguidores, sobre todo en su país natal, pero la mayoría de los geólogos encontraban inverosímiles sus ideas, demasiado parecidas a la ciencia ficción. Entonces, durante la Segunda Guerra Mundial, los submarinos empezaron a explorar de forma sistemática el lecho marino. Tras la guerra, revelaron un nuevo paisaje subacuático con enormes riscos, montañas y valles, así como volcanes en extinción y otros aún activos. Harry Hess (1906-1969), un geólogo que trabajaba para la marina estadounidense, siguió el rastro de estos riscos hasta tierra firme. También recorrió las «fallas geológicas», esas regiones terrestres por encima o por debajo del agua donde son habituales los terremotos y los volcanes. Lo que descubrió fue que las masas terrestres y el lecho marino formaban un continuo. La tierra no flotaba, como había sugerido Wegener. Entonces, ¿cómo se movían las masas de tierra?

A Hess se unió un grupo de físicos, meteorólogos (observadores del clima), oceanógrafos (estudiosos del mar), sismólogos (especialistas en terremotos) y los geólogos tradicionales, que empezaron a estudiar la historia de la Tierra cada uno con las herramientas de sus distintos campos. No era una misión sencilla. El interior de la Tierra se calienta a gran velocidad y, no muy lejos de la superficie, los instrumentos se funden. Así que gran parte de lo que sabemos en la actualidad sobre la composición y la estructura del interior de nuestro planeta tuvo que ser deducido a partir de métodos indirectos. La ciencia funciona a menudo de este modo.

La expulsión de lava líquida desde los volcanes se había interpretado durante mucho tiempo como un fenómeno

mediante el cual la Tierra se deshacía del exceso de calor acumulado debajo, y en cierto sentido es cierto. Pero la descripción no está completa. El descubrimiento de que los elementos radiactivos, como el uranio, desprenden de forma natural una gran cantidad de energía al desintegrarse añadía otra fuente de calor interno. Pero la radiactividad era una fuente productora de calor constante, lo que significaba que la antigua idea de que en el pasado la Tierra había sido una bola muy caliente que se estaba enfriando de forma gradual resultaba demasiado sencilla.

Por lo menos, era demasiado sencilla para el geólogo Arthur Holmes (1890-1965), que aseguró que la Tierra se deshace de la mayor parte de su calor generado internamente a través del conocido proceso de transferir el calor: la convección. Lo importante aquí fue que Holmes se dio cuenta de que no era en la corteza terrestre (donde vivimos nosotros) donde ocurrían las cosas, sino en la capa inmediatamente inferior hacia el centro de la Tierra. Esta capa se conoce como el manto, y Holmes creía que las rocas fundidas que había allí se movían de forma gradual hacia arriba, del mismo modo que el agua más caliente lo hace en una bañera. A medida que subían y se alejaban de la zona más caliente, se enfriaban, volvían a hundirse y eran reemplazadas por otras rocas fundidas, en un ciclo interminable. Lo que sale despedido cuando un volcán entra en erupción son algunas de estas rocas fundidas que están subiendo. La mayoría de ellas nunca alcanzan la superficie terrestre, pero al enfriarse y volver a hundirse sufrían un proceso de expansión, lo cual constituía un mecanismo que podía separar los continentes milímetro a milímetro.

A medida que se exploraban los océanos y la Tierra, un

nuevo método para establecer la antigüedad del planeta proporcionó un significado real al tiempo profundo. La técnica de la datación radiométrica había aparecido gracias al descubrimiento de la radiactividad por parte de los físicos (capítulo 31), y ahora permitía a los científicos datar las rocas que estudiaban comparando la cantidad del elemento radiactivo y la del producto final (uranio y plomo, por ejemplo). Mediante el uso de esta técnica era posible averiguar la edad de una roca, puesto que tras su formación no se incorporaba a ella ningún material nuevo. El hecho de conocer la edad de un estrato de rocas individual ha permitido a su vez determinar la antigüedad de la Tierra. Se han encontrado rocas de más de cuatro mil millones de años, siempre sobre tierra. Las que se encuentran en el fondo de los océanos son siempre más recientes. Los océanos no son tan longevos como los continentes, y de hecho están siempre muriendo y renaciendo, por supuesto a lo largo de un extenso periodo de tiempo, así que no tienes que preocuparte por tus vacaciones junto al mar. (Por otra parte, el calentamiento global producido por el hombre podría muy bien seguir fundiendo los casquetes polares y conllevar una peligrosa elevación del nivel del mar en las próximas décadas.)

Las rocas no sólo toman elementos radiactivos a medida que se forman, sino que también mantienen la orientación magnética de su hierro o de otros materiales sensibles al magnetismo. Del mismo modo que la radiactividad, el magnetismo ha contribuido a que los científicos calculen la antigüedad de las rocas. El polo magnético de la Tierra no se ha mantenido constante durante el largo periodo de existencia del planeta. El norte y el sur han cambiado en

diversas ocasiones, de modo que las orientaciones norte-sur también pueden proporcionar claves sobre el momento de formación de una roca. A lo largo de nuestra vida y la de nuestros nietos, las brújulas señalarán el norte, pero las cosas no han sido siempre así y tampoco lo serán en un futuro lejano, si nos fiamos del pasado.

El magnetismo, la convección, los paisajes submarinos y la datación radiométrica han revelado claves muy importantes sobre las características de la Tierra en el pasado remoto. Todas juntas bastaron para convencer a los científicos terrestres de que Wegener estaba casi en lo cierto. Sin duda, el movimiento continental existía, pero la deriva o la flotación a las que él hacía referencia, no. En lugar de eso, John Wilson (1908-1993) y algunos más siguieron el audaz hilo de pensamiento que había iniciado Wegener al sostener que la parte superior del manto terrestre está formada por una serie de capas gigantes, que encajan y cubren la Tierra cruzando las fronteras entre el mar y la tierra. Pero no encajan a la perfección, y allí es donde aparecen las fallas. El estudio de lo que ocurre cuando una placa se roza con otra, cuando se superponen o chocan entre sí, es lo que se conoce como «tectónica de placas». Piensa en la montaña más alta de la Tierra, el Everest, en el Himalaya. Su altura se debe a que el Himalaya se formó cuando dos de estas placas empezaron a chocar entre sí hace setenta millones de años. El premio Nobel de geología no existe, pero tal vez debería. La tectónica de placas explica muchas cosas sobre los terremotos y los *tsunamis*, las montañas y las rocas, los fósiles y los seres vivos. Nuestra Tierra es muy vieja, pero es un lugar muy especial.

¿Qué es lo que heredamos?

¿A quién te pareces más, a tu padre o a tu madre? ¿O quizá a un abuelo o a una tía? Si se te da bien el fútbol o tocas con habilidad la flauta o la guitarra, ¿hay alguien más en tu familia que también lo haga? Tiene que ser alguien con quien tengas una relación biológica y de quien podrías haber heredado estas cosas, no sólo alguien con quien has emparentado a través de una boda, como una madrastra o un padrastro. Estos últimos pueden hacer cosas maravillosas por ti, pero es imposible que hayas heredado ninguno de sus genes.

En la actualidad sabemos que aspectos como el color de nuestros ojos o de nuestro pelo se controlan y pasan de una generación a otra a través de nuestros genes. La «genética» es el área de la ciencia que los estudia, y el término *herencia* es el que se utiliza para describir cómo se transmite la información almacenada en ellos. Nuestros genes determinan en gran parte lo que somos. ¿Cómo se dieron cuenta de la importancia de todo ello?

Regresemos un momento a Charles Darwin (capítulo 25). En su trabajo, la herencia jugaba un papel fundamental y era

vital para sus ideas sobre la evolución de las especies, aunque aún no había descubierto cómo se producía. Mucho después de la publicación de su libro *El origen de las especies* en 1859, los biólogos seguían debatiendo sobre el tema, y les interesaba particularmente descubrir si era posible que en ocasiones tuviera lugar una herencia «blanda». Se trataba de una idea asociada al naturalista francés Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829), que también creía en el desarrollo de las especies a través del cambio evolucionario. Piensa en el cuello largo de una jirafa: ¿cómo ha sido su evolución a lo largo del tiempo? Lamarck sostenía que se debía a que las jirafas siempre se estiran hacia arriba para alcanzar las hojas de los árboles más altos, y este leve cambio se habría transmitido de generación en generación. Con el tiempo y los estiramientos suficientes, un animal de cuello corto acabaría por convertirse en uno de cuello largo. El entorno interactuaría con el organismo para moldearlo o adaptarlo, y ese rasgo pasaría a las siguientes generaciones.

Demostrar de forma experimental la herencia blanda resultaba muy difícil. El primo de Darwin, Francis Galton (1822-1911), realizó una serie de minuciosos experimentos en los que inyectó la sangre de conejos negros en conejos blancos. La descendencia de los conejos transfundidos no mostró ninguna señal de haberse visto afectada por la sangre. Galton también cortó la cola a ratones durante varias generaciones, pero no produjo una raza de ratones sin cola. La práctica de circuncidar a los niños tampoco ha tenido ningún efecto en las siguientes generaciones de bebés varones.

Hasta principios del siglo XX se aportaron argumentos a favor y en contra de esta teoría. En ese momento, dos cosas

convencieron a la mayoría de los biólogos de que los rasgos que las plantas y los animales han adquirido a lo largo de su vida no se transmiten a su descendencia. El primer hecho fue el redescubrimiento de los trabajos de un monje de Moravia (en la actual República Checa), Gregor Mendel (1822-1884). En la década de 1860, Mendel había publicado en una revista de poca divulgación los resultados de sus experimentos en el jardín del monasterio. Fascinado con los guisantes mucho antes de que Galton empezara a cortar las colas a sus ratas, Mendel se preguntaba qué ocurriría si se cruzaban plantas de guisantes con determinadas características (es decir, plantas con los guisantes de distinto color) para obtener una nueva generación de plantas de guisantes. Los guisantes eran un buen material de trabajo porque crecían a gran velocidad, así que era sencillo y rápido pasar de una generación a otra. La vaina también presentaba claras diferencias: los guisantes podían ser amarillos o verdes, con la piel suave o rugosa. Lo que descubrió fue que estos rasgos se heredaban con precisión matemática, pero de un modo que era fácil pasar por alto. Si una planta con guisantes verdes (sus semillas) se cruzaba con una amarilla, toda la primera generación de guisantes era amarilla. Pero al cruzar estas plantas de primera generación entre sí, en la siguiente generación tres de cada cuatro plantas tendrían guisantes amarillos y una, verdes. El rasgo amarillo había dominado en la primera generación pero, en la segunda, el rasgo «recesivo» (el verde) había vuelto a aparecer. ¿Qué significaban estos patrones? Mendel concluyó que la herencia es «particulada», es decir, que las plantas y los animales heredan los rasgos en unidades separadas. La herencia era algo bastante definido, más que

los cambios graduales de la herencia blanda o una media de los atributos de los dos progenitores. Los guisantes eran o verdes o amarillos, y no de una tonalidad intermedia.

Mientras el trabajo de Mendel pasaba desapercibido, August Weismann (1834-1914) propinó el segundo ataque crítico a la herencia blanda. Mientras que la máxima preocupación de Mendel era su vida religiosa, Weismann era antes que nada un decidido científico, un brillante biólogo alemán. Creía con firmeza que el punto de vista evolucionario de Darwin era correcto, pero se daba cuenta de que la falta de explicación a la herencia suponía un problema, así que transformó su fascinación por las células y la división celular en una solución.

Unos años antes de los experimentos de Mendel con los guisantes, Rudolf Virchow había anunciado sus ideas sobre la división celular (capítulo 26). En las décadas de 1880 y 1890, Weismann se dio cuenta de que para conseguir un óvulo o una célula espermática, las células «madre» del sistema reproductor se dividían de un modo distinto a la división celular en el resto del cuerpo. La clave estaba en esta diferencia. En este proceso, conocido como «meiosis», los cromosomas se dividían y la mitad del material cromosómico acababa en cada una de las células «hijas» resultantes. En el resto de células corporales, la célula «hija» tiene la misma cantidad de material cromosómico que la «madre». (Si la explicación te resulta confusa, recuerda que al hablar de «célula madre» nos referimos a cualquier célula, y que ésta se divide en dos «células hijas». Se encuentran en todo el cuerpo y no tienen nada que ver con las verdaderas madres e hijas.) Así que cuando el óvulo y las células espermáticas se fusionan, las dos mitades del material

cromosómico vuelven a formar el total en el óvulo fecundado. Estas células reproductoras diferían de todas las demás células del cuerpo. Weismann sostenía que lo que ocurriera en las células de los músculos, los huesos, los vasos sanguíneos o los nervios no tenía ninguna importancia: sólo estas células reproductoras contenían lo que heredaría la descendencia de un individuo concreto. En el caso del cuello de la jirafa, el supuesto estiramiento no tendría ningún efecto en el óvulo y el espermatozoide, y eran estas células las que contenían lo que él denominó «plasma germinal». Era éste, con los cromosomas del óvulo y el espermatozoide, lo que se heredaba, y bautizó esta idea como la «continuidad del plasma germinal».

En 1900 no uno sino tres científicos desempolvaron una copia de la revista que incluía el artículo de Mendel y pusieron en conocimiento de la comunidad científica el resultado de sus experimentos. Los biólogos se dieron cuenta de que Mendel había proporcionado la mejor prueba experimental a la «continuidad del plasma germinal» de Weismann y que el «mendelismo», como no tardó en llamarse, tenía una sólida base científica.

La comunidad científica se dividió en dos grupos, el de los «mendelianos» y el de los «biométricos». Estos últimos, encabezados por el experto en estadística Karl Pearson (1857-1936), creían en la herencia «continua» y defendían que lo que heredamos es una media de los atributos de nuestros padres. Llevaron a cabo un importante trabajo de campo en el que se dedicaron a tomar medidas de las pequeñas diferencias entre las criaturas y los caracoles marinos, y demostraron que estas leves diferencias podían jugar un papel significativo a la hora de determinar cuántos

individuos de la descendencia sobrevivían, lo que se conoce como «el éxito reproductor de las especies». El líder de los mendelianos era el biólogo de Cambridge William Bateson (1861-1926). Fue él quien acuñó el término «genética». Los mendelianos hacían hincapié en la herencia de la clase de rasgos discretos (separados) que había ilustrado el monje, y sostenían que el cambio biológico se daba en forma de salto, y no mediante los cambios lentos y continuos que defendían los biométricos. Ambos grupos aceptaban el *hecho* de la evolución, sus diferencias hacían referencia al modo en que ésta ocurría.

Durante veinte años, el debate fue virulento, hasta que en la década de 1920 varias personas demostraron que ambos grupos estaban en lo cierto y al mismo tiempo se equivocaban. Lo que estaban haciendo era mirar las dos caras del mismo problema. Muchas características biológicas se heredan de forma biométrica, a través de la mezcla. Un padre alto y una madre baja tendrían hijos cuya altura media sería la mezcla de la de sus padres. Algunos serían tan altos o más que su padre, pero la altura media tendería a encontrarse entre la de los dos padres. Otras características, como el color de los ojos humanos, o el color de los guisantes, se heredan de una forma exclusiva, no combinada. Las diferencias entre los mendelianos y los biométricos se resolvían al medir poblaciones enteras y aplicar un razonamiento matemático al problema. Estos nuevos biólogos, como J.B.S. Haldane (1892-1964), apreciaban la genialidad de las conclusiones de Darwin, y se dieron cuenta de que en cualquier población se puede heredar una variación de forma aleatoria. Si ésta proporciona alguna ventaja, aquellos animales y plantas que la tengan

sobrevivirán, mientras que otros tipos de variación se extinguirán.

El modo en que heredamos estos rasgos es también de vital importancia. Se trataba de la siguiente pieza del rompecabezas. Gran parte del trabajo original se realizó en el laboratorio de Thomas Hunt Morgan (1866-1945) en la Universidad de Columbia, en Nueva York. Éste había empezado su carrera observando cómo los animales empiezan su vida y se desarrollan como embriones. Aunque nunca perdió el interés en la embriología, a principios del siglo XX su atención se volvió a la nueva disciplina de la genética. El laboratorio de Morgan no era un sitio ordinario. Bautizado como la «sala de las Moscas», se convirtió en el hogar de miles de generaciones de la mosca del vinagre común (*Drosophila melanogaster).* La mosca del vinagre es un animal muy apropiado para los experimentos. Tiene sólo cuatro cromosomas en el núcleo de sus células, y precisamente lo que Morgan quería entender era el papel de los cromosomas en la transmisión de rasgos hereditarios. Los cromosomas de la mosca del vinagre son grandes y fáciles de observar a través del microscopio. También se reproducen con gran rapidez, sólo tienes que dejar a la intemperie un plato de fruta y ver lo que ocurre. En un breve periodo de tiempo pueden estudiarse muchas generaciones para ver lo que sucede cuando las moscas con unas determinadas características se cruzan con otras. Si te imaginas lo que supondría realizar este trabajo con elefantes, entenderás por qué eligieron las moscas del vinagre.

La Sala de las Moscas de Morgan se hizo famosa y atrajo tanto a estudiantes como a otros científicos. Se trataba de un

precedente del modo en que se realiza el trabajo científico en la actualidad: un grupo de investigadores trabaja a las órdenes de un «jefe» (Morgan) que ayuda a definir los problemas. El jefe supervisa el trabajo de sus jóvenes investigadores, que llevan a cabo los experimentos. Morgan animaba a todo el mundo a compartir sus ideas y trabajar en grupo, así que resulta difícil establecer con exactitud quién hizo qué. (Cuando Morgan recibió el premio Nobel, compartió el dinero con dos de sus jóvenes colegas.)

Casi por casualidad, Morgan realizó un descubrimiento crucial. Se dio cuenta de que una mosca de una eclosión reciente tenía los ojos de color rojo, en lugar del habitual blanco, y la aisló antes de cruzarla con las habituales moscas de ojos blancos. Al analizar la descendencia de ojos rojos de esa mosca, lo primero que descubrió fue que todos los ejemplares eran hembras. Eso sugería que el gen de los ojos rojos se encontraba en el cromosoma del sexo, el que determina si el descendiente será macho o hembra. En segundo lugar, vio que los patrones de herencia del color de los ojos seguían las mismas reglas que los guisantes de Mendel: los ojos eran blancos o rojos, pero nunca rosas o de algún color intermedio. Morgan analizó otros patrones de los rasgos heredados de las pequeñas moscas, como el tamaño de las alas y la forma. Sus colegas y él observaron sus cromosomas a través del microscopio y empezaron a crear mapas de cada uno, en los que se determinaba la localización de las unidades de herencia (los genes, tal como se les había bautizado). Las mutaciones (cambios), como la repentina aparición de los ojos rojos, podían ayudar a localizar la ubicación del gen, al analizar minuciosamente qué hacían los cromosomas durante la división celular. Una

de los estudiantes de Morgan, H.J. Muller (1890-1967), descubrió que los rayos X causaban mutaciones más rápidas. Muller recibió su propio premio Nobel en 1948, y su trabajo alertó al mundo de los peligros de la radiación de las bombas atómicas e incluso de los rayos X que se usaban en el ámbito médico. Morgan también demostró que a veces los cromosomas intercambian material al dividirse. A este fenómeno se lo conoce como «entrecruzamiento», y se trata de otra de las formas con la que naturaleza incrementa la diversidad en plantas y animales.

Morgan y su grupo, así como muchos otros en todo el mundo, convirtieron la genética en una de las ciencias más fascinantes entre 1910 y 1940. Poco a poco, el gen se fue definiendo como una sustancia material localizada en los cromosomas de las células. Los genes se transmitían a la descendencia a través del óvulo femenino fecundado por el espermatozoide masculino, y la contribución de cada progenitor era equivalente. También se demostró que las mutaciones eran las que permitían el cambio evolucionario y generaban la diversidad, y podían ocurrir tanto de forma natural como a través de los métodos artificiales que estudiaba Muller. La genética fue fundamental para el pensamiento evolucionista. Aunque la naturaleza exacta del gen permaneció sin explicar, su realidad estaba ahora más allá de toda duda.

Este nuevo pensamiento genético tenía un reflejo oscuro en el ámbito social. Si la herencia blanda no existía, de modo que una mejor alimentación, el ejercicio o la bondad no podían cambiar los genes de los hijos, tendrían que utilizarse métodos distintos si se deseaba la mejora de las futuras generaciones. La «selección artificial» de Darwin llevaba

siglos practicándose por ganaderos y agricultores que intentaban mejorar las características de lo que criaban. Gracias a ella, se podían criar vacas que dieran más leche o tomates más jugosos. En 1904 Francis Galton (el primo de Darwin), fundó un laboratorio «eugenésico». Él mismo había acuñado el término *eugenesia*, que significa «buen nacimiento». Lo que intentaba era cambiar los hábitos reproductores de los seres humanos. Si, como Galton creía, era posible demostrar que la inteligencia, la creatividad, la criminalidad, la locura o la desidia eran rasgos familiares, tenía sentido animar a los «buenos» a tener más hijos (eugenesia «positiva») y evitar que los «malos» tuvieran tantos (eugenesia «negativa»). Lo más habitual en Gran Bretaña era la eugenesia positiva, y se realizaban campañas para animar a las parejas instruidas de clase media a tener más hijos, bajo el supuesto de que estas parejas eran de algún modo «mejores» que un obrero cualquiera y su mujer. A finales de la década de 1890, el Gobierno se había asustado al ver el lamentable estado de los reclutas de la guerra de los Bóers en Sudáfrica. Una gran cantidad de voluntarios fue rechazada por no ser físicamente aptos, incapaces incluso de llevar un rifle. Entonces, entre 1914 y 1918, la Primera Guerra Mundial fue testigo de una masacre en masa en los campos de batalla europeos, y muchas personas dieron por hecho que los muertos eran en su mayoría los mejores. Todas las naciones del mundo occidental empezaron a preocuparse por la calidad y la fuerza de su población.

La eugenesia negativa era más siniestra, pues muchos asumían que podía conllevar el encierro de las personas con trastornos mentales o «subnormales», los criminales, los discapacitados y otros que vivían en los márgenes de la

sociedad. En Estados Unidos muchos estados promulgaron leyes que decretaban la esterilización para evitar que estas personas tuvieran hijos. Desde la década de 1930 hasta su derrota en 1945, los nazis ejecutaron las más terribles atrocidades. En nombre del Estado, primero encarcelaron y después asesinaron a millones de personas, de las que decidieron que era impropio que vivieran. Judíos, gitanos, homosexuales, personas con trastornos mentales o deficientes, criminales: todos fueron trasladados en masa a campos de concentración o bien ejecutados.

El periodo nazi le dio al término «eugenesia» una connotación negativa. Como veremos más adelante, hay quien cree que la eugenesia podría regresar por la puerta de atrás, a medida que los científicos descubren más y más cosas sobre la herencia y el modo en que ésta influye en lo que somos. Todos necesitamos la ciencia, pero debemos asegurarnos de que se utiliza para hacer el bien.

¿De dónde venimos?

En la actualidad sabemos que compartimos el 98% de nuestro genoma con nuestros familiares animales más cercanos, los chimpancés. Se trata de un amplísimo grado de similitud, pero hay algunas diferencias cruciales. Aunque los chimpancés se comunican, no usan el lenguaje como los humanos. Y además, nosotros podemos leer y escribir. Si damos un paso atrás, veremos que los humanos y los chimpancés, junto con los gorilas y los orangutanes, constituyen la familia de los *Hominidae*, conocida a menudo como «grandes simios». Los humanos tenemos menos semejanzas con los gorilas y los orangutanes, pero en algún momento del pasado estos cuatro grupos compartieron un antecesor común a partir del cual se desarrolló cada uno. Hablamos de hace mucho tiempo, tal vez quince millones de años.

Nuestros primos los grandes simios nos resultan fascinantes y levemente inquietantes, igual que les sucedía a aquellos que los estudiaron y escribieron sobre ellos en el pasado. Se preguntaban qué lugar ocupaban en la creación estos animales salvajes que se parecían tanto a nosotros y al

mismo tiempo eran tan distintos. En 1699 el anatomista inglés Edward Tyson (1651-1708) consiguió el cuerpo de un chimpancé muerto. Diseccionó con meticulosidad este exótico animal y comparó lo que había encontrado con lo que sabía de la anatomía humana. Era la primera vez que alguien había observado tan de cerca a un chimpancé. Tyson lo colocó justo por debajo de nosotros en la gran cadena del ser de Aristóteles. Sostenía que era natural que algún animal hubiera saltado el hueco entre los animales y el resto del reino animal. Aunque no lo decía, Tyson había sugerido que era necesario un «eslabón perdido» en la cadena, algo que nos conectara con el resto de animales.

En Gran Bretaña, Alemania y Francia se estaba descubriendo un número cada vez mayor de artefactos humanos, tales como puntas de lanza y cabezas de hacha. Se trataba de fascinantes pruebas de que la presencia humana se remontaba a milenios atrás. Estas herramientas se encontraban a menudo en cuevas y áreas con fósiles, entre los restos fosilizados de animales extinguidos: los temibles tigres dientes de sable o los mamuts gigantes. Resultaba obvio que estos animales extinguidos y los humanos de la Edad de Piedra que habían fabricado las herramientas habían vivido en la misma época. En ese caso, los humanos llevaban decenas de miles de años sobre la Tierra, y no el periodo mucho más corto que alguna gente creía. Por supuesto, no todo el mundo estaba de acuerdo, pero el amigo de Darwin, Thomas Henry Huxley (1825-1895), no albergaba dudas. El descubrimiento en 1856 de un «hombre de Neandertal» en una cueva del valle Neander en Alemania lo llenó de emoción. En su libro *Man's Place in Nature* (1863), escribió sobre este fósil, sobre los humanos modernos y

sobre los grandes simios. Hoy en día sabemos que se trataba del primer fósil homínido que no pertenecía a nuestra especie, *Homo sapiens*, el nombre biológico con que nos bautizó Linneo (capítulo 19). *Homínidos* es el término que se usa en la actualidad para designarnos a nosotros y a nuestros ancestros extinguidos, y a medida que se descubren más restos fósiles, el grupo aumenta. El árbol de la vida va creciendo, y poco a poco se rellenan los huecos.

En aquella época, Huxley demostró la suficiente prudencia para reconocer que un solo hallazgo no puede decirlo todo de una especie entera, de modo que incluyó al hombre de Neandertal en la misma especie que los humanos actuales. Pero tenía la certeza de que se trataba de un espécimen muy antiguo, lo bastante para que la evolución hubiera hecho su trabajo. Sin duda había habido algunos cambios, puesto que aunque el hombre de Neandertal era bastante similar a nosotros, también presentaba diferencias. El cráneo mostraba un inmenso arco superciliar y una cavidad nasal mucho más grande. Las proporciones de las extremidades y del cuerpo eran muy distintas a las nuestras. Era posible incluso que se tratara de un cuerpo deformado y no de otra especie. Con el tiempo, se descubriría que los Neandertales fueron los primeros homínidos en enterrar a sus muertos.

Huxley conocía en su totalidad las ideas de Darwin sobre la evolución humana antes de que el gran hombre publicara en rápida sucesión los dos libros en que exponía sus ideas y las pruebas sobre nuestros ancestros. En 1871 Darwin hizo en *Descendencia del hombre* lo que había evitado en *El origen de las especies*: puso el foco de su convincente explicación de nuestro mundo sobre la especie humana. En 1872 su libro *La*

expresión de las emociones en el hombre y los animales añadió una importante dimensión psicológica a su argumento. La base del libro eran sus minuciosas observaciones de sus propios hijos, sus sonrisas y muecas, entre muchos otros comportamientos. Los humanos formaban parte de la vida sobre la Tierra, como el resto de especies de plantas y animales. Darwin concluyó que lo más probable era que nuestros ancestros hubieran vivido en África, donde habían aparecido los primeros humanos.

La descripción de Darwin de la evolución en términos de un «árbol genealógico» significaba que no era posible que fuéramos descendientes de los simios modernos. La primera vez que se debatieron en público sus ideas sobre la evolución fue en una reunión multitudinaria en Oxford, organizada por la Organización Británica para el Avance de la Ciencia. El propósito de la asociación era divulgar los últimos hallazgos científicos y organizar una reunión anual donde los científicos hablaran y debatieran las novedades. El encuentro de 1860 estuvo lleno de dramatismo, pues la idea del «hombre simio» causó sensación. Se esperaba con ansiedad el debate de las ideas de Darwin sobre la evolución, en el que el obispo Samuel Wilberforce lideraba el grupo de los antidarwinianos y Huxley, el de los que lo defendían. Creyéndose muy listo, Wilberforce le preguntó a Huxley si descendía de los simios por la parte de su abuelo o la de su abuela. Huxley replicó que prefería descender de un simio que perder su tiempo y su intelecto en una pregunta tan estúpida: Wilberforce no había captado la idea. Éste siguió sin convencerse, pero ese día Huxley y la evolución resultaron vencedores.

Los hallazgos de la larga existencia de la humanidad

sobre la Tierra animaron a naturalistas, antropólogos (estudiosos de la humanidad) y arqueólogos a plantearse una pregunta: ¿cuál había sido la condición original de los seres humanos? En esta época hizo su aparición el «hombre de las cavernas», tras los descubrimientos realizados en varias cuevas de Gran Bretaña y Europa. Estaba claro que estos cavernícolas habían utilizado el fuego, y también se encontraron armas, herramientas de piedra y utensilios para cocinar. Los antropólogos y los exploradores descubrieron asimismo grupos de cazadores recolectores en África, Asia y Suramérica, y argumentaron que todas las sociedades humanas habían pasado por distintas etapas comunes de desarrollo social. E.B. Tylor (1832-1917) se convirtió en el primer profesor de Antropología en Oxford, y recurrió al concepto de «supervivencia» en su esquema de una gran senda para la evolución social y cultural, en referencia a las prácticas religiosas y sociales, las supersticiones y las distintas formas de organización de las relaciones familiares. Según Tylor, estas supervivencias habían quedado congeladas en las sociedades «primitivas» africanas, por ejemplo, y proporcionaban claves sobre el pasado común de la humanidad. Tylor y otros estudiosos deseaban entender los orígenes del lenguaje y estudiaron los gestos y otros medios de comunicación.

Esta temprana antropología comparaba el dinamismo de Europa, Norteamérica, Australia y Nueva Zelanda con las supuestamente inamovibles vidas de los «primitivos», o incluso con las complejas y arraigadas culturas de China e India. En la actualidad, este punto de vista nos resulta arrogante. Aplicada a la sociedad occidental, la idea de lucha evolucionaria parece explicar por qué algunos individuos

prosperan y otros no. A medida que el capitalismo industrial cobraba fuerza, empezó a utilizarse el «darwinismo social» (la evolución aplicada a la cultura humana) para explicar por qué había gente rica y otra pobre, y países poderosos y otros que no lo eran. El darwinismo social justificaba el triunfo de los individuos, las razas o las naciones fuertes sobre los más débiles.

Mientras unos debatían sobre el darwinismo social, otros lo hacían sobre la evolución biológica. Hasta la década de 1890, todos los restos humanos fosilizados que se descubrían eran considerados *Homo sapiens*. Al mismo tiempo, el estatus del hombre de Neandertal seguía siendo incierto. Entonces, el antropólogo holandés Eugène Dubois (1858-1940) se desplazó a las Indias Orientales Neerlandesas en busca de pruebas de la evolución humana en la tierra de los orangutanes. En Java (la actual Indonesia), encontró la parte superior de un cráneo fosilizado perteneciente a una criatura no humana que había caminado erguida y a la que bautizó como «el hombre de Java». La atención se desplazó entonces hacia Asia, que se consideró el lugar desde donde habían evolucionado los humanos. El hombre de Java, junto con otro antiguo esqueleto humano encontrado en Cro-Magnon, en Francia, motivó algunas preguntas sobre la cronología de los hechos. ¿Qué había sido primero, caminar erguido sobre dos piernas, un cerebro grande o el lenguaje y el hecho de vivir en sociedades?

En Asia se habían realizado muchos más hallazgos de homínidos prehumanos, pero, en el siglo XX, fue en África donde se demostró hasta qué punto eran perspicaces las predicciones de Darwin. En 1924 el anatomista australiano Raymond Dart (1893-1988) descubrió un fósil conocido como

«el niño de Taung», cuya significación puso de relevancia el médico surafricano Robert Broom (1866-1951). Los dientes del niño de Taung eran como los de los niños humanos, pero su cerebro se parecía demasiado al de un simio para ser considerado humano. Broom creía que el fósil de Dart (y algunos que se encontraron con posterioridad, incluido el de un adulto) era un antecesor de los seres humanos. Dart lo llamó *Australopithecus africanus*, que literalmente significa «el simio meridional de África». Hoy en día se estima que tiene entre 2,4 y 3 millones de años de antigüedad. Después del niño de Taung, se encontraron en África numerosos e importantes fósiles que contribuyeron a establecer la evolución de los ancestros de los humanos. Louis y Mary Leaky (1903-1972 y 1913-1996) proporcionaron aún más popularidad a la historia humana. En la década de 1950 trabajaron sobre todo en la garganta de Olduvai, en Kenia, y Louis puso el acento en que los primeros homínidos habían fabricado herramientas. A uno de los fósiles homínidos que había vivido entre 1,6 y 2,4 millones de años atrás le dio el nombre de *Homo habilis*. En la década de 1970, Mary Leakey encontró unas huellas de 3,6 millones de años de antigüedad preservadas en ceniza volcánica que se había endurecido. Correspondían a tres homínidos erguidos, junto con las de otros animales, y sugerían que el hecho de caminar sobre dos pies era anterior al desarrollo del tamaño del cerebro.

Durante la primera mitad del siglo XX, el estudio de huesos humanos fosilizados se complicó con varios interesantes hallazgos en una gravera del pueblo de Piltdown, en East Sussex, en el sur de Inglaterra. Los descubrimientos empezaron en 1908, y en 1912 un arqueólogo aficionado local, Charles Dawson (1864-1916),

anunció que habían encontrado un cráneo. El hallazgo causó gran expectación. El «hombre de Piltdown» tenía un cráneo como el de los humanos actuales con una mandíbula al estilo de los simios. Parecía un verdadero eslabón perdido, una especie de «hombre simio». Numerosos científicos eminentes publicaron artículos sobre el extraño fósil, pero resultaba difícil encajarlo en la secuencia emergente de los nuevos homínidos y los antiguos fósiles de simios. Piltdown siempre había olido a chamusquina, y a comienzos de la década de 1950 los métodos de datación, que no existían en 1908, demostraron que se trataba de una enorme falsificación. El hombre de Piltdown combinaba un cráneo humano moderno con la mandíbula de un orangután, empapados en elementos químicos para que parecieran antiguos. Los dientes también se habían limado. Nadie puede asegurar quién fue el responsable; existen varios sospechosos pero ninguna convicción definitiva. El propio Dawson se encuentra en los primeros puestos de la lista de sospechosos.

Una vez descubierto que Piltdown era un fraude, el resto de fósiles homínidos pudo organizarse en un orden más probable, utilizando la datación radiométrica para determinar su antigüedad y comparando sus características físicas. Un fósil en particular, bautizado como Lucy, se ha hecho famoso hasta el punto de ir de gira y que se escriba una «biografía» sobre ella. Lucy fue descubierta en Etiopía en 1978, y de su esqueleto se conservaba más de la mitad. Vivió hace tres o cuatro millones de años, mucho antes que el niño de Taung. Igual que éste, pertenece al género *Australopithecus*, pero a una especie anterior, la *afarensis* («simio de Afar»). Las piernas, la pelvis y los pies de Lucy

indican que probablemente andaba erguida y trepaba a los árboles y las rocas. Su cavidad craneal no era mucho mayor que la de los actuales chimpancés, pero su cerebro era mayor que el de éstos en relación con el cuerpo. (La relación entre el cerebro y el cuerpo es una mejor referencia para determinar las funciones mentales que el mero tamaño: el cerebro de los elefantes es mayor que el de los humanos, pero la relación cerebro-cuerpo es menor. Por supuesto, existen muchos otros factores que determinan la «inteligencia», aparte del tamaño del cerebro.) Lucy mostraba características «mixtas»; no llegaba a ser un humano tosco, pero era una criatura que había tenido éxito por derecho propio.

El hallazgo de cientos de fósiles homínidos en numerosas partes del mundo nos ha permitido hacernos una idea bastante clara de la senda evolucionaria que lleva a los actuales seres humanos. Podemos incluso establecer qué comían o qué parásitos infectaban a nuestros ancestros. En el puzle faltan muchas piezas, y existe un gran debate sobre los detalles: ¿qué nos cuenta este diente o la forma de ese hueso del muslo? Seguro que hay más sorpresas en la reserva, porque el hallazgo de fósiles no se ha interrumpido. En 2003, en Indonesia, el arqueólogo australiano Mike Morwood y sus colegas desenterraron en la isla de Flores unos fósiles de pequeños homínidos que habían vivido hasta hace sólo quince mil años, aunque probablemente sean de una especie desconocida. El estatus exacto del *Homo floresiensis* (conocido como «el Hobbit») sigue siendo incierto. Se han realizado análisis de ADN (el modo más fiable de establecer relaciones biológicas), pero hasta ahora no han tenido éxito.

Descubrir en qué modo se relacionan los Neandertales con los actuales humanos también supone un emocionante desafío. Sin duda se trata de una especie que vivió en la misma época que el *Homo sapiens* en Europa, hace unos cincuenta mil años. Compartimos con ellos algunos de nuestros genes. ¿Contribuyó la aparición del *Homo sapiens*, el hombre «actual», a la extinción de los Neandertales? No estamos seguros. ¿Procreaban unos con otros? Es probable. Tanto los Neandertales como el *Homo sapiens* se vieron obligados a sufrir las bajísimas temperaturas que asolaron Europa la última vez que los glaciares la cubrieron, y los Neandertales no sobrevivieron.

Para reconstruir el árbol genealógico humano a partir de los fósiles de distintas épocas y en diferentes lugares, utilizamos los mismos métodos y técnicas que para otros animales, como el caballo o el hipopótamo. Por supuesto, las emociones implicadas cuando se trata de humanos son más intensas que si hablamos de hipopótamos, pero las pruebas están allí, y paleontólogos, antropólogos, arqueólogos y otros especialistas siguen encajando las piezas. Gracias a las pruebas, han descubierto que los homínidos, incluido el *Homo sapiens*, aparecieron por primera vez en África y se extendieron desde allí. Hay aún muchas cosas que no sabemos de las migraciones de los primeros homínidos. ¿Hubo varias oleadas para salir de África? ¿Qué ocasionó la rápida evolución del gran cerebro que diferencia nuestra propia especie de la de nuestros primos? La ciencia se ocupa del cómo, no del por qué, y eso resulta especialmente cierto cuando pensamos en nuestros ancestros y en, como dijo Huxley, «el lugar del hombre en la naturaleza».

Fármacos asombrosos

En la Tierra debe de haber cinco millones de cuatrillones de bacterias, es decir, 5×10^{30} o un cinco con treinta ceros detrás: un número asombroso. Las bacterias pueden vivir en casi cualquier lugar: la tierra, los océanos, bajo tierra, en el hielo ártico, en el agua hirviente de los géiseres, sobre nuestra piel y dentro de nuestros cuerpos. Las bacterias llevan a cabo toda clase de trabajos muy útiles; ¿sin ellas, qué ocurriría con toda la basura que digieren? También nosotros nos beneficiamos de esa actividad digestiva: las bacterias que viven en nuestros intestinos nos ayudan a desintegrar el alimento que ingerimos para extraer las proteínas y las vitaminas. Algunas bacterias han acabado incluso convirtiéndose en útiles fármacos, junto con otros microorganismos, los hongos. A la mayoría de nosotros nos han recetado alguna vez estos antibióticos.

En el siglo XIX los científicos habían descubierto lo dañinas que podían ser algunas bacterias que causaban enfermedades e infectaban las heridas. En el capítulo 27 hemos referido la historia de cómo fue aceptada la teoría germinal de las enfermedades. Justo después se empezaron a

buscar fármacos que pudieran aniquilar las bacterias invasoras sin dañar las células del cuerpo. Se trataba de la búsqueda de una «bala mágica», según la denominó el médico alemán Paul Ehrlich (1854-1915), que descubrió una medicina para tratar la sífilis, pero contenía arsénico, que es venenoso, así que debía usarse con mucho cuidado y tenía serios efectos secundarios.

A mediados de la década de 1930, el farmacólogo alemán Gerhard Domagk (1895-1964) empezó a utilizar el elemento químico azufre y elaboró un compuesto denominado Prontosil, efectivo para diversas clases de bacterias causantes de enfermedades. (La farmacología se dedica al estudio de los fármacos.) Uno de sus primeros pacientes experimentales fue su propia hija, cuya mano se había visto infectada por el *Streptococcus* o estreptococo, una desagradable bacteria que produce una infección en la piel. Los médicos habían dicho que la única forma de intentar salvarla de aquella infección que amenazaba su vida era amputar el brazo. El Prontosil curó con éxito la infección. También era efectivo con la escarlatina y con una infección bacteriana fatal llamada fiebre puerperal, que mataba a las mujeres después de dar a luz. El uso del Prontosil comenzó a extenderse a partir de 1936 y contribuyó al dramático descenso del número de estas muertes. Este fármaco y otros que también contenían azufre se encontraban entre las mejores medicinas que podían recetar los médicos para ciertas bacterias. Domagk obtuvo el premio Nobel en 1939 (aunque en aquella época los nazis tenían prohibido a los alemanes aceptarlo).

El siguiente premio Nobel por el descubrimiento de un fármaco llegó en 1945. Tres hombres, el escocés Alexander

Fleming (1881-1955), el australiano Howard Florey (1898-1968) y el refugiado alemán Ernst Chain (1906-1979) compartieron el premio por el descubrimiento de la penicilina, el primer fármaco «antibiótico». Un antibiótico es una sustancia producida por un microorganismo que puede matar a otros, y que reproduce en nuestro beneficio un proceso que ocurre todo el tiempo en el mundo natural. La penicilina se sintetiza a partir de una fuente natural, el microorganismo *Penicillium notatum*, una especie de hongo o moho. En el pan de molde pasado es posible distinguir pequeños anillos de un hongo azul. Si te gustan las setas, estás comiendo otra clase hongos. Se cree que hay un millón y medio de especies de hongos en nuestro planeta. Tienen un ciclo vital complejo que incluye un estadio de espora parecido al de las semillas de las plantas. En la actualidad, los antibióticos también pueden producirse en el laboratorio en lugar de a partir de una fuente natural, pero la idea básica es la misma.

La historia de la penicilina empieza en la década de 1920. Como ocurre con todas las buenas historias, existen diversas versiones. Una de ellas afirma que en 1928, una espora del hongo flotó a través de la ventana abierta del laboratorio de Alexander Fleming en el hospital St. Mary de Londres. Al cabo de un tiempo se dio cuenta de que parte de la bacteria que estaba cultivando en una placa de Petri había dejado de crecer allí donde había caído la espora. Identificó que la espora procedía del *Penicillium*, la estudió más a fondo y publicó su trabajo para compartirlo con otros bacteriólogos. Aun así, no encontró la forma de fabricar suficiente cantidad de lo que fuera que la espora había producido para que resultara útil, de modo que la abandonó como una

observación de laboratorio curiosa y posiblemente prometedora.

Una década después, Europa se vio inmersa en la Segunda Guerra Mundial. Las guerras siempre traen consigo brotes de enfermedades infecciosas, tanto entre los soldados como entre los civiles. Por ello, el patólogo Howard Florey, que se había instalado en Reino Unido, fue reclamado para que encontrara fármacos efectivos contra las infecciones. Uno de sus asociados, Ernst Chain, se puso a leer todo lo que pudo encontrar, incluido el artículo de Fleming. A continuación, intentó extraer la sustancia activa producida por el moho de la penicilina. En marzo de 1940 su ayudante de laboratorio, Norman Heatley (1911-2004), encontró un método mejor para obtener esta prometedora sustancia. Puesto que trabajaban en las difíciles condiciones propias de los tiempos de guerra, tenían que apañarse con pocos recursos y usaban cuñas y lecheras como recipientes para cultivar las soluciones de moho. Aun así, lograron obtener un poco de penicilina relativamente pura. Las pruebas con ratones demostraron su efectividad a la hora de controlar las infecciones, pero sintetizar aquella milagrosa sustancia resultaba muy difícil: hacía falta una tonelada de una solución cruda de penicilina para conseguir dos gramos del fármaco. Su primer paciente fue un policía que se había infectado tras clavarse la espina de una rosa. Al suministrarle el fármaco, su estado mejoró durante un breve espacio de tiempo. Filtraron su orina para recuperar el preciado fármaco, pero el hombre murió al terminarse el suministro.

El Reino Unido de los tiempos de guerra no disponía de los recursos industriales para producir suficiente penicilina,

así que, en julio de 1941, Florey y Heatley volaron a Estados Unidos para animar a las compañías farmacéuticas norteamericanas a hacerse cargo. Florey era un científico de la vieja escuela y, como tal, creía que un descubrimiento como el suyo era para el bien común y no debía ser patentado. (Las patentes son un medio de proteger las ideas de los inventores y asegurarse de que nadie más las copia.) Los estadounidenses pensaban de otro modo. Dos empresas en concreto desarrollaron métodos especiales para producir penicilina a gran escala y, para recuperar todo el dinero invertido en la investigación, presentaron una patente, lo que significaba que nadie más podía utilizar su sistema para producir el fármaco. En 1943 la penicilina estaba disponible para uso militar y en algunos civiles. Demostró ser muy efectiva contra la bacteria estreptococo, así como contra algunos de los organismos que causaban la neumonía, numerosas infecciones de las heridas y algunas infecciones de transmisión sexual. No tardó en producirse la suficiente para asegurarse de que todos aquellos que pudieran recibir el tratamiento sobrevivieran; de otro modo, muchos habrían muerto, sobre todo los soldados que lucharon hacia el final de la guerra.

Mientras Florey y su equipo estaban ocupados con la penicilina, Selman Waksman (1888-1973) trabajaba en las propiedades antibióticas de las bacterias. Waksman había llegado a Estados Unidos en 1910 procedente de Ucrania. Estaba fascinado con los microorganismos que vivían en la tierra y había visto cómo algunos de ellos mataban a otras bacterias que también vivían allí. A partir de finales de la década de 1930, intentó aislar compuestos de estas bacterias que pudieran funcionar como antibióticos. Con la ayuda de

sus alumnos, consiguió aislar algunas sustancias efectivas, pero eran demasiado tóxicas para utilizarse con humanos. Entonces, en 1943, uno de sus alumnos aisló el *Streptomyces*, con el que se elaboró la estreptomicina, que demostró ser efectiva y no demasiado dañina para los pacientes. Sorprendentemente, funcionaba contra la bacteria que causaba la tuberculosis, esa enfermedad mortal que mató a más gente que cualquier otra a lo largo de la mayor parte del siglo XIX. Aunque en la década de 1940 era menos habitual en Occidente, seguía cobrándose su peaje por todas partes. Sus víctimas eran con frecuencia los jóvenes, que dejaban a sus seres amados desolados y a los niños, huérfanos.

La penicilina y la estreptomicina fueron sólo el principio de toda una nueva gama de antibióticos y otros productos químicos que curaban las enfermedades infecciosas. En los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial, hicieron crecer entre la gente el optimismo respecto a la capacidad de la medicina para combatir e incluso erradicar esa clase de enfermedades. Había poca gente en Occidente que muriera debido a una infección, y con la excepción de otras nuevas, como el sida, ha seguido siendo así. Sin duda, muchos jóvenes del siglo XX pueden vivir con más salud que sus padres o abuelos.

Pero si los optimistas de la década de 1960 hubieran analizado con atención la historia de un «fármaco milagroso» anterior, se habrían dado cuenta de que los milagros son bastante improbables. Ese fármaco previo era la insulina, usada para tratar la diabetes desde la década de 1920. Se trata de una dolencia terrible que, si no se trata, hace que el cuerpo se consuma; sus víctimas se adelgazan hasta un extremo doloroso, siempre tienen sed, orinan con

frecuencia y al final entran en coma y mueren. Afectaba sobre todo a los jóvenes, que morían en un par de años. Es una enfermedad compleja, pero las células especiales que producen insulina de forma natural en el páncreas, un órgano cercano al estómago, dejan de realizar su trabajo. La insulina es una hormona, un «mensajero» químico que mantiene los niveles adecuados de azúcar (glucosa) en nuestra sangre.

Mientras que la penicilina fue el resultado de una afortunada casualidad, la historia de la insulina es la de una concienzuda investigación sobre cómo funcionan algunas partes de nuestro cuerpo. Los investigadores ya habían explicado el papel del páncreas tras extraerlo de los perros (u otros animales) que sufrían una enfermedad similar a la diabetes. En el verano de 1921, el profesor J.J.R. Macleod (1876-1935) no se encontraba en su puesto de la Universidad de Toronto, en Canadá. Un joven cirujano llamado Frederick Banting (1891-1941) y su ayudante Charles Best (1899-1978), estudiante de Medicina, realizaron una serie de sencillos experimentos. Con la ayuda de un bioquímico, James Collip (1892-1965), consiguieron extraer y sintetizar la insulina de los páncreas de los perros y, al administrársela a sus animales experimentales, a los que les habían extraído el páncreas, descubrieron que se recuperaban de su diabetes.

La insulina fue definida como una «fuerza de actividad mágica»: literalmente, podía hacer regresar de la muerte a las víctimas de esta clase de diabetes. Una de ellas fue un chico de catorce años, Leonard Thompson, la primera persona en recibir un tratamiento de inyecciones de insulina, en 1922. Thompson estaba muy por debajo de su peso y confinado en una cama de hospital debido a su

debilidad. Las inyecciones redujeron el azúcar en su sangre hasta un nivel normal, ganó peso y pudo abandonar el hospital con su jeringuilla y su suministro de insulina.

Un año después, Banting y el profesor Macleod recibieron el premio Nobel y compartieron el dinero del galardón con Best y Collip. Aquel veloz reconocimiento demostraba la importancia que todo el mundo atribuía a su trabajo. La insulina *era* muy importante. Proporcionaba a muchos jóvenes que de otro modo habrían muerto la oportunidad de vivir más años, pero lo que no proporcionaba era una vida *normal*. Los diabéticos tenían que controlar su alimentación, aplicarse inyecciones regulares de insulina y analizar con frecuencia su orina para medir los niveles de azúcar. Todo ello era mejor que nada, pero una o dos décadas después estos primeros diabéticos empezaron a sufrir otros problemas de salud: insuficiencia renal, cardiopatía, problemas de visión y dolorosas úlceras en las piernas que no se curaban. La insulina transformaba una enfermedad mortal en problemas que había que tratar durante toda la vida. Los mismos problemas se detectaron en el otro tipo de diabetes, que afecta sobre todo a adultos con sobrepeso y recibe el nombre de diabetes tipo 2. En la actualidad es la forma más habitual y cada vez la sufre más gente. Las dietas actuales contienen demasiado azúcar y comida refinada, y la obesidad se ha convertido en una epidemia global. La ciencia médica ha prestado su ayuda, y las pastillas pueden reducir los niveles de azúcar en sangre, pero los diabéticos del tipo 2 se enfrentan a la misma clase de problemas en la madurez. Sencillamente, la medicina no es tan eficaz como nuestro sistema natural para regular el nivel de azúcar en nuestros cuerpos.

La naturaleza nos ha demostrado que no podemos confiar en la penicilina y otros antibióticos. Estos fármacos siguen siendo útiles, pero las bacterias que causan las enfermedades se han adaptado a ellos. El descubrimiento de Darwin de la selección natural es aplicable a toda la naturaleza, y muchas bacterias han desarrollado defensas contra los antibióticos que antes las mataban. El *Staphylococci* o estafilococo y el bacilo de la tuberculosis han demostrado ser especialmente adaptables. Del mismo modo que el resto de seres vivos, sus genes mutan en ocasiones, y las mutaciones que les ayudan a sobrevivir son las que se transmiten a la siguiente generación. El tratamiento de las infecciones en la actualidad se ha convertido en un juego del gato y el ratón: se desarrollan nuevos fármacos para atacar gérmenes que evolucionan para resistir casi cualquier cosa que se les lance. Uno de los problemas más recientes es el SARM (*Staphylococcus Aureus* Resistente a la Meticilina). El *S. aureus* es una de esas bacterias que suelen vivir en nuestro cuerpo, aunque puede ser la causante de leves infecciones después de un arañazo. Su forma resistente a los antibióticos es peligrosa y se encuentra por lo general en los hospitales, debido a que allí se usa gran cantidad de antibióticos y las bacterias que sobreviven a menudo son aquellas que han desarrollado la resistencia. Y no sólo las bacterias se enfrentan a nuestros intentos de controlar las enfermedades: algunos de los parásitos que ocasionan la malaria son resistentes a casi todos los fármacos de que disponemos.

Hoy en día sabemos que los microbios tienden a desarrollar su resistencia cuando los pacientes no siguen el tratamiento hasta que se lo indican, o cuando se suministra una dosis errónea. Lo mismo ocurre cuando se hace un mal

uso de los fármacos: a menudo se recetan a los pacientes antibióticos de forma inapropiada, para tratar infecciones, catarros o anginas provocadas por virus. (Los antibióticos combaten las bacterias, y nada pueden hacer contra los virus.) Si tu dosis de antibióticos no basta para matar la bacteria causante de la enfermedad, lo que puede hacer el tratamiento es ayudar a sobrevivir a la bacteria resistente. En el futuro, estas bacterias podrían causar una enfermedad intratable.

A pesar de todos estos problemas, hoy en día los médicos disponen de fármacos más potentes y efectivos que nunca antes. Algunos, como la insulina, controlan la enfermedad más que curarla, pero todos estos medicamentos modernos han dado a la gente del mundo «desarrollado» la oportunidad de vivir más años, lo cual ha ampliado la esperanza de vida. Pero aun así, sigue habiendo problemas importantes: no siempre es fácil ver a un médico, conseguir suficiente alimento, beber agua potable o vivir en un hogar confortable. Desde principios de la década de 1990, la brecha entre ricos y pobres se ha ensanchado en los países ricos, igual que entre los países pobres y los ricos. Las cosas no deberían ser así.

Hoy en día cuesta mucho dinero proporcionar cuidados médicos. Utilizamos tecnología avanzada para diagnosticar las enfermedades y curarlas, y el desarrollo y las pruebas de nuevos medicamentos suponen un gasto mucho mayor que el de producir penicilina. Así pues, es necesario que nos cuidemos en la medida que podamos. Pese a lo asombrosas que sean las medicinas, el dicho sigue siendo cierto: «Es mejor prevenir que curar».

Piezas fundamentales

Con el paso el tiempo, los científicos se inclinaron por especializarse en sus propios campos. Los biólogos se dedicaban a la biología, los químicos a la química y los físicos a la física. Así pues, ¿qué ocurrió en la década de 1930, cuando primero los químicos y luego los físicos decidieron que era el momento de ocuparse de problemas de la biología? La química se centraba en el estudio de cómo se combinaban y reaccionaban las sustancias, pero cada vez estaba más claro que los organismos vivos (el área de estudio de los biólogos) estaban formados por algunos de los elementos de la tabla periódica que usaban los químicos, como el carbono, el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno. La física se ocupaba de la materia y la energía, que en aquella época estaba llena de átomos y partículas subatómicas. ¿No se trataba acaso de un medio de entender más cosas sobre los elementos químicos? En suma, ¿podían la química y la física explicar los organismos vivos como una serie de reacciones químicas y estructuras atómicas? ¿Y podía eso proporcionar una respuesta a una de las preguntas más antiguas de la ciencia: qué es la vida?

En las primeras décadas del siglo xx, Thomas Hunt Morgan había utilizado las pequeñas moscas del vinagre para demostrar que eran los cromosomas del núcleo celular los que almacenaban la información genética responsable de la herencia. Los genetistas habían avanzado mucho en el conocimiento de lo que hacía este material genético y podían demostrar cómo, en distintas partes del cromosoma, los diferentes genes podían desarrollar y crear un ojo o una ala. Incluso podían mostrar cómo las mutaciones producidas por rayos X podían generar alas de formas insólitas, pues creían que estos rayos afectaban a los genes. Pero lo que no sabían era qué era un gen.

¿Podían las proteínas ser este material genético? Las proteínas son esenciales en muchas de las reacciones que se producen en nuestro cuerpo. Se trata del primer grupo de compuestos que fue estudiado de forma sistemática por los biólogos moleculares. Tal como sugiere el nombre, la biología molecular es el ámbito de la ciencia que trata de entender la química de las moléculas de los seres vivos, y cómo funciona. La mayoría de las proteínas son moléculas muy grandes y complejas formadas por grupos de aminoácidos, compuestos más pequeños y sencillos. Al ser más simples, resultaba más fácil averiguar de qué estaban hechos, utilizando el análisis y la síntesis química habitual. Los bloques constituyentes, que en distintas combinaciones forman todas las proteínas de las plantas y los animales, son unos veinte aminoácidos.

Cómo encajan éstos para formar las proteínas era una pregunta mucho más complicada. Aquí fue donde intervinieron los físicos, pues resultó que los rayos X proporcionaban pistas sobre el proceso. Lo primero que

había que hacer era obtener un cristal de la proteína que querías estudiar y, después, bombardearlo con rayos X. Éstos se doblarían al atravesar el cristal, o bien se reflejarían según un patrón particular, conocido como patrón de difracción y que podía ser recogido en una placa fotográfica.

Interpretar los patrones impresos en la placa fotográfica es un trabajo delicado. Lo que se ve es un intrincado dibujo de muchísimos puntos y sombras, una imagen plana en dos dimensiones, pero es necesario pensar en tres dimensiones para entenderlo, y ponerte unas gafas de 3D no sirve de nada. Además de visualizar la imagen, hay que saber química para entender cómo se unen los elementos. Y también hay que ser bueno en matemáticas. La química Dorothy Hodgkin (1910-1994), que trabajaba en la Universidad de Oxford, aceptó el reto. Parte de lo que sabemos sobre la estructura de la penicilina, la vitamina B12 y la insulina se lo debemos a sus investigaciones en cristalografía con rayos X. Fue galardonada con el premio Nobel en 1964.

Linus Pauling (1901-1994) también tenía una gran habilidad en el uso de los rayos X para averiguar la estructura de compuestos químicos complejos. En una brillante serie de experimentos, sus colegas y él pudieron demostrar que si faltaba un solo aminoácido en la molécula de hemoglobina de nuestras células sanguíneas rojas, el resultado era una seria enfermedad: la anemia drepanocítica. (Más que redondas, las células rojas que contienen esta hemoglobina tienen forma de hoz.) Esta alteración molecular se encuentra sobre todo en África, donde la malaria siempre está presente. En la actualidad se cree que beneficia a la gente que la tiene, porque las células rojas en forma de hoz

contribuyen a protegerla contra la variante más peligrosa de la malaria. Se trata de un ejemplo de la evolución humana en acción. La gente que sólo posee el rasgo (un único gen, heredado del modo que estudió Mendel en los guisantes) es moderadamente anémica, pero es más resistente a la malaria. Los individuos que heredan el gen de ambos padres sufren una anemia severa. Los síntomas de la anemia drepanocítica se identificaron a principios del siglo XX; cincuenta años después, Pauling hizo uso de las nuevas técnicas de la biología molecular para entender qué era lo que sucedía, y sus investigaciones marcaron el inicio de una nueva era en la medicina: la medicina molecular.

Tras su éxito con las proteínas, Pauling obtuvo casi el mayor premio: desvelar la estructura molecular de los genes. Sus experimentos con rayos X demostraron que muchas proteínas, como las que forman tu pelo o tus músculos, o las que transportan el oxígeno en las moléculas de hemoglobina, tienen una forma especial: a menudo están retorcidas en forma de espiral (hélice). A principios de la década de 1950, muchos científicos creían que los genes estaban hechos de ácido deoxirribonucleico, un compuesto más conocido como ADN, palabra que además resulta mucho más fácil de pronunciar. El ADN se descubrió en 1869, pero hizo falta mucho tiempo para entender lo que hacía y qué aspecto tenía. En 1952 Pauling sugirió que se trataba de una molécula alargada en forma de espiral hecha de tres hebras entrelazadas, lo que se denominó «triple hélice».

Mientras Pauling trabajaba en California, dos grupos de investigadores ingleses le pisaban los talones. En el King's College de Londres, el físico Maurice Wilkins (1916-2004) y la química Rosalind Franklin (1920-1958) se estaban

convirtiendo en biólogos moleculares. Franklin tenía una especial pericia para realizar e interpretar fotografías producidas por la cristalografía de rayos X. En Cambridge, el joven estadounidense James Watson (1928) había dejado de lado su interés por la ornitología (el estudio de las aves) para sumarse al equipo de Francis Crick (1916-2004). Crick había estudiado Física y, después de trabajar para el Ministerio de Marina durante la Segunda Guerra Mundial, había regresado a la universidad como alumno maduro, esta vez para estudiar Biología. Watson y Crick se convirtieron en una de las parejas más famosas en el mundo de la ciencia.

Crick compartió con su compañero su experiencia en el análisis de la estructura de las proteínas mediante rayos X. Watson y él sabían que el ADN se encuentra en los cromosomas del núcleo de la célula, los mismos componentes celulares que Morgan había analizado treinta años atrás. Recortaron cartones para realizar maquetas que les ayudaron a ver las posibles estructuras del ADN, y también se aprovecharon de las fotografías que había hecho Franklin. A principios de 1953, crearon una nueva maqueta que coincidía con todos los datos procedentes de los rayos X y aseguraron que era la correcta. Según se cuenta, mientras lo celebraban en el pub esa noche, Grick y Watson afirmaron haber descubierto «el secreto de la vida».

Si bien los bebedores que los acompañaban esa noche no sabían a qué se referían, los lectores de la revista científica semanal *Nature* no tardarían en descubrirlo. Crick y Watson publicaron su hallazgo en el número del 25 de abril de 1953, que también incluía un artículo del equipo londinense de Wilkins y Franklin. Pero fueron Crick y Watson quienes demostraron que el ADN está formado por dos hebras

entrelazadas, no por tres como había dicho Pauling. Estas hebras se unen mediante piezas transversales, y el aspecto final es el de una larga escalera flexible en forma de espiral. Los elementos verticales de la escalera están formados por una clase de azúcar, la porción D o desoxirribo de la molécula y por los fosfatos. Cada peldaño de la escalera está formado por una pareja de moléculas, o bien adenina con timina o bien citosina con guanina, que recibieron la denominación de «par de bases» de la molécula. Si esa éra la estructura, ¿en qué modo explicaba «el secreto de la vida»?

Los pares de bases se unen a través de enlaces de hidrógeno. En el proceso de división de las células, las espirales se desenrollan, casi como si se «abriera una cremallera». En ese momento, las dos mitades presentan los moldes de dos cadenas idénticas para ser copiadas por la célula. Así pues, Watson y Crick habían demostrado el modo en que los genes se transmitían de los progenitores a su descendencia, y cómo las células «hijas» contenían el mismo grupo de genes que la célula «madre». Era un proceso sencillo y elegante, y enseguida resultó obvio. En 1962, después de que la comunidad científica aceptara la estructura y el papel del ADN, Crick, Watson y Wilkins compartieron el premio Nobel, que sólo puede ser otorgado hasta a tres personas a la vez. Rosalind Franklin no había sido ignorada, sino que había muerto de cáncer de ovario en 1958, con sólo treinta y ocho años de edad.

Francis Crick, con la ayuda de otros, siguió divulgando la importancia de los genes en los organismos vivos y el papel que juegan en la herencia. La actividad cotidiana de los genes consiste en hacer proteínas. El «código genético» está hecho de tres peldaños contiguos de la escalera, y cada trío

de peldaños («codón») es responsable de un solo aminoácido. Crick demostró cómo pequeños fragmentos de la molécula de ADN proporcionan a los aminoácidos el código que forma proteínas como la hemoglobina y la insulina. Los genetistas se dieron cuenta de que el orden de los pares de bases dentro del ADN es fundamental, pues determina qué aminoácidos se convertirán en proteínas. Las proteínas son unas moléculas muy complejas, en ocasiones con docenas de aminoácidos, así que para formar una hace falta una larga secuencia de ADN.

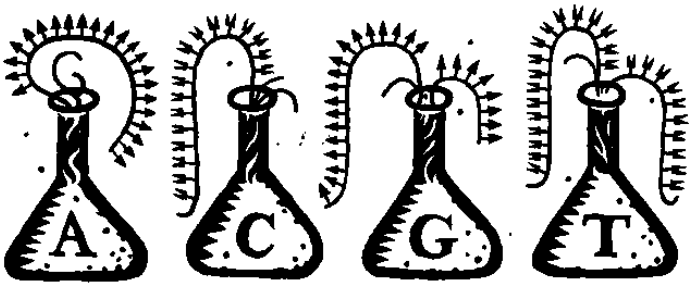
Una vez establecido el comportamiento básico del ADN, los científicos podían explicar el tipo de cosas que Morgan había observado en su Sala de las Moscas. Morgan había analizado las características visibles de organismos completos, en este caso, la mosca con los ojos blancos normales o los rojos mutados. Esta clase de rasgo visible se denomina «fenotipo». A partir de entonces, los científicos podían empezar a trabajar a un nivel situado por debajo de la totalidad del organismo, al nivel de los genes, lo que acabó conociéndose como «genotipo».

El descubrimiento de la estructura del ADN constituyó un punto de inflexión crucial en la historia de la biología moderna, pues ponía de manifiesto que los biólogos podían analizar las cosas en términos de las moléculas de sus células, algo que con anterioridad pertenecía al ámbito de la química. En ese momento, era lo que todo el mundo quería hacer. Las investigaciones posteriores revelaron que los aminoácidos y las proteínas se formaban en el citoplasma de la célula, el líquido que rodea el núcleo. El estudio del funcionamiento de esta pequeña fábrica de proteínas permitió el descubrimiento del ARN, el ácido ribonucleico,

parecido al ADN pero con una sola hebra en lugar de dos, y un tipo diferente de azúcar. El ARN jugaba un importante papel en la transmisión de información desde el ADN del núcleo de la célula hacia la fábrica de proteínas del citoplasma.

Los biólogos moleculares iban a transformar nuestra concepción sobre el origen de las enfermedades. Revelaron que la función de proteínas como la hormona insulina era regular el azúcar en sangre y consiguieron ampliar su comprensión del cáncer, una de las enfermedades actuales más temidas. Aunque todos los cánceres pueden afectar a todo el cuerpo, y convertirse así en una enfermedad general, empiezan con una sola célula mutante que se comporta de forma errónea y no deja de dividirse. Estas células fuera de control son glotonas. Utilizan los nutrientes del cuerpo y, si alcanzan un órgano vital, afectan a sus funciones, lo cual conlleva un mayor grado de enfermedad. Averiguar cómo sucedía esto a un nivel molecular resultaba esencial para desarrollar fármacos que pudieran ralentizar el proceso, o incluso detenerlo.

El estudio de estos procesos dinámicos resulta difícil con animales grandes y complejos, así que el trabajo de los biólogos moleculares depende del uso de organismos simples. Gran parte de las primeras investigaciones sobre la función del ADN y el ARN se realizó con bacterias, y para la investigación en cáncer se utilizan animales, como los ratones. No siempre es fácil trasladar los resultados a los humanos, pero ésta es la forma en que opera la ciencia moderna: desde lo sencillo hasta lo más complejo. Con este método hemos podido entender los procesos que han permitido la evolución durante millones de años. Resulta que el ADN es la molécula que controla nuestro destino.



Leer «el libro de la vida»

El Proyecto Genoma Humano

Los humanos tienen aproximadamente veintidós mil genes (el número exacto aún se está investigando). ¿Cómo podemos saberlo? Porque en laboratorios de todo el mundo los científicos colaboran con el Proyecto Genoma Humano. Este ambicioso proyecto ha contado nuestros genes mediante la secuenciación del ADN y ha contestado una pregunta que había quedado pendiente cuando Crick y Watson revelaron la estructura del ADN. La «secuenciación» hace referencia a la posición, dentro de los cromosomas, de cada uno de los tres mil millones de «pares de bases» de las moléculas que conforman nuestro genoma. Se trata de una cantidad ingente de moléculas de adenina y timina, citosina y guanina organizadas en dobles hélices en el núcleo de cada una de nuestras células.

Si la comprensión del ADN nos había proporcionado «el secreto de la vida», la intención del Proyecto Genoma Humano era leer «el libro de la vida», pues eso es lo que es el genoma: los genes de todo lo que eres, desde el color de tus ojos hasta la forma del meñique del pie. También afecta a cosas que no se ven con tanta facilidad: las instrucciones

para que una célula fecundada se divida en dos y luego en cuatro y así sucesivamente hasta que se forma un bebé completo en el útero. Controla los programas biológicos en las células que producen proteínas como la hormona de la insulina, que regula nuestro nivel de azúcar en sangre, y hace funcionar los programas de las sustancias químicas cerebrales que transmiten mensajes de un nervio a otro.

El Proyecto Genoma Humano empezó en 1990 y debía terminar en 2005. Pero en un momento de teatralidad científica, el 26 de junio de 2000, cinco años antes de su finalización, ocurrió algo extraordinario. El presidente de Estados Unidos y el primer ministro británico anunciaron a bombo y platillo en directo por televisión que se había completado el primer borrador del proyecto. Les acompañaban algunos de los científicos que habían realizado el trabajo, pero la presencia de estos dos relevantes líderes indicaba lo importante que era comprender el genoma.

Pasarían tres años más hasta que en 2003 se elaboró una versión mejorada de este libro de la vida, en la que se habían llenado los enormes huecos y corregido la mayoría de los errores. Aun así, eran dos años menos de lo que se había planeado en un principio. Durante los años que había durado el proyecto, los métodos y la tecnología usados por los científicos, sobre todo la ayuda proporcionada por los ordenadores, también habían avanzado.

El proyecto del genoma había sido posible gracias a décadas de investigaciones posteriores al descubrimiento del ADN. Tras la revelación de Crick y Watson en 1953, uno de los aspectos más importantes era «clonar» hebras de ADN para obtener más material de la molécula concreta de ADN que se deseaba investigar. En los años sesenta, los biólogos

moleculares descubrieron que era posible hacerlo utilizando enzimas y bacterias. Las enzimas son proteínas que pueden hacer toda clase de cosas dependiendo de su estructura individual. En este caso, se utilizaron para que hicieran uno de sus trabajos habituales: cortar el ADN en pequeñas secciones. Después, estas secciones se insertaban en una bacteria mediante un procedimiento especial. Las bacterias se reproducen a gran velocidad, y a medida que estas bacterias modificadas se reproducían, hacían copias de las secciones añadidas de ADN; estas copias, los clones, podían almacenarse para futuras investigaciones. El procedimiento generó gran expectación, pero sólo era un comienzo. Es posible clonar tanto células completas como trozos de ADN. La oveja *Dolly*, nacida en 1996 y fallecida en 2003, fue el primer mamífero clonado a partir de una célula de oveja adulta. Las técnicas de clonación siguen evolucionando y son uno de los ámbitos más interesantes de la investigación en biología molecular.

Ahora que los científicos disponían de muchas secciones de ADN para experimentar, empezaron a resolver el problema de la secuenciación, es decir, el orden de los pares de bases de las moléculas de ADN. Se trataba de un trabajo para el biólogo molecular Frederick Sanger (1918), que trabajaba en Cambridge y que ya había recibido el premio Nobel en 1958 por descubrir el orden de los aminoácidos de la proteína de la insulina.

Una de las diferencias básicas entre los aminoácidos y el ADN es que las moléculas de este último son mucho mayores y tienen muchísimos más pares de bases que aminoácidos tienen las proteínas. Asimismo, los aminoácidos comparten menos similitudes químicas, mientras que las bases de ADN se

parecen unas a otras, lo que hace más difícil distinguirlas. Basándose en su propio trabajo previo, y en el de otros, Sanger encontró la forma de preparar hebras cortas de ADN utilizando la marcación radiactiva, sustancias químicas y enzimas. Adaptó varios procesos bioquímicos para separar la adenina, la timina, la citosina y la guanina unas de otras. Para ello, se aprovechó del hecho de que, en tanto que compuestos químicos, tienen propiedades químicas y físicas levemente diferentes. Los mejores resultados los obtuvo mediante un proceso llamado «electroforesis».

Para asegurarse de que los resultados eran precisos, Sanger y su equipo procesaron diversas veces múltiples copias de cada hebra y compararon los resultados. Se trataba de un procedimiento repetitivo y que llevaba mucho tiempo, pero al utilizar numerosas hebras cortas de la molécula alargada y observar luego dónde empezaban y terminaban, consiguieron emparejarlas y producir una secuencia de ADN legible. En 1977, obtuvieron su primer éxito en la lectura del genoma de un organismo. Se trataba de uno humilde, un bacteriófago llamado phi X 174. Los bacteriófagos son virus que infectan a las bacterias, y el phi X 174 se usaba a menudo en los laboratorios de biología molecular. En 1980 Sanger recibió su segundo premio Nobel por su valioso trabajo.

Los siguientes objetivos del genoma eran también organismos de laboratorio. A pesar de las dificultades para obtener una secuencia de ADN legible, los biólogos moleculares continuaron con sus investigaciones. Mientras, las novedades informáticas contribuían a analizar los patrones de las bases de las hebras cortas. Los científicos no cejaron en su empeño. Si conseguían saber con exactitud

qué genes tenía un organismo, y que proteínas podía fabricar cada uno, podrían entender aspectos básicos acerca de la formación de un organismo, literalmente célula a célula, desde el óvulo fecundado hasta el adulto.

La mosca del vinagre era un candidato obvio para sus investigaciones. Antes de 1950, Thomas Hunt Morgan y su grupo habían realizado ya bastante trabajo sobre los patrones de la herencia y mapas genéticos muy rudimentarios. Otro de los candidatos era un gusano redondo llamado *Caenorhabditis elegans*, que con sólo un milímetro de longitud, tenía exactamente 959 células, incluido un sencillo sistema nervioso. Tal vez no parezca una gran mascota, pero era el animal de laboratorio favorito de Sydney Brenner (1927), y lo había sido durante muchos años. Brenner había llegado en 1956 al Laboratorio de Biología Molecular (LMB, por sus siglas en inglés) de Cambridge procedente de Suráfrica, y desde los años sesenta había estudiado su desarrollo, puesto que resultaba sencillo observar sus células. Creía que era posible determinar con exactitud en qué se convertiría cada una de las células del embrión al crecer. Su esperanza era que si lograba revelar el genoma del gusano, podría relacionar sus genes con el modo en que el gusano adulto lleva a cabo sus funciones vitales.

En el curso de su trabajo, Brenner y su equipo también descubrieron muchas cosas sobre las actividades cotidianas de las células de los animales, incluido un trabajo muy importante que debe realizar la célula: morir cuando llega el momento. Las plantas y los animales siempre crean nuevas células; piensa en tu piel y en cómo se arruga cuando pasas mucho rato en la bañera. Nos desprendemos de la materia muerta y ésta es reemplazada desde abajo por nuevas células

vivas. Todo este proceso de vida y muerte que tiene lugar dentro del organismo es una característica habitual de la naturaleza, y son los genes los que lo programan. Ésa es la razón de que las células cancerígenas sean tan peligrosas: no saben cuándo les ha llegado el momento de morir. Uno de los principales objetivos de la actual investigación sobre el cáncer es intentar influir en el gen que no consigue indicarle a la célula que es hora de dejar de dividirse. Brenner y dos de sus colegas fueron galardonados con el premio Nobel en 2002 por su trabajo con el modesto gusano redondo.

En esa época, uno de esos colegas, John Sulston (1942), dirigía el equipo británico del Proyecto Genoma Humano, que constituye un símbolo de la ciencia moderna. En primer lugar, era muy caro y trabajaban en él miles de personas. El científico actual raramente es un trabajador solitario, y lo habitual es que los artículos científicos tengan docenas o incluso centenares de autores. Lo más probable es que el trabajo requiera a muchos individuos con distintas habilidades. Ha pasado mucho tiempo desde que William Harvey trabajaba solo, o Lavoisier tenía como única ayudante de laboratorio a su mujer. Varios laboratorios trabajaban juntos en la secuenciación del genoma humano. Se repartían entre ellos los distintos cromosomas, así que era preciso cooperar y confiar unos en otros, y cada laboratorio debía producir las secuencias con los mismos criterios de calidad. Para ello eran necesarias numerosas porciones pequeñas de ADN, que el ordenador analizaba a continuación para unirlas en una sola secuencia. El funcionamiento de estos laboratorios requería grandes cantidades de dinero, por lo cual se necesitaban generosas donaciones. En Estados Unidos, éstas procedían de los laboratorios financiados por

el gobierno de los Institutos Nacionales de Salud y otros organismos. En Reino Unido, la financiación procedió primero del Gobierno y luego de una gran organización benéfica dedicada a la investigación médica, el Wellcome Trust. Los gobiernos francés y japonés establecieron laboratorios más pequeños, lo que le dio al proyecto un alcance realmente internacional.

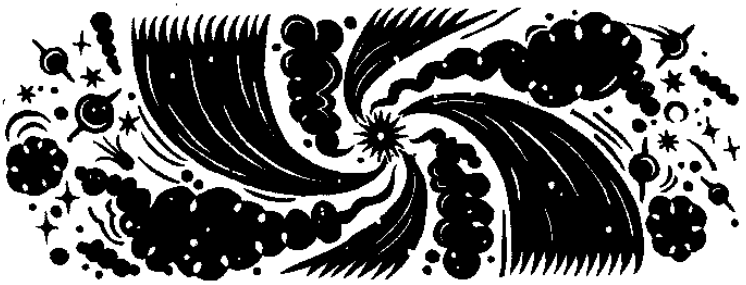
En segundo lugar, el proyecto (y de hecho, toda la ciencia moderna) sería imposible sin los ordenadores. Los científicos tenían que analizar grandes cantidades de información mientras observaban cada hebra de ADN e intentaban distinguir dónde empezaba y dónde acababa. Para un humano sería un trabajo apabullante, pero los ordenadores pueden realizarlo con gran rapidez. En la actualidad, muchos proyectos científicos incluyen a personas que se ocupan sólo de los ordenadores y sus programas, no de las moscas del vinagre o los tubos de ensayo.

En tercer lugar, la ciencia moderna es un gran negocio, donde hay mucho dinero que ganar y también que gastar. El Proyecto Genoma Humano se convirtió en una carrera entre los grupos financiados con fondos públicos y una empresa privada fundada por un emprendedor estadounidense, Craig Venter (1946), un científico muy dotado que había contribuido a desarrollar parte del equipo que podía acelerar la secuenciación del ADN. Venter quería ser el primero en decodificar el genoma humano, patentar los datos y cobrar a los científicos y a las empresas farmacéuticas por utilizar la información. El resultado final fue un acuerdo. El genoma humano completo está disponible para todo el mundo, pero algunas de las formas en que se puede usar esta información

están patentadas, y los medicamentos y pruebas diagnósticas resultantes pueden venderse para obtener beneficios. Por supuesto, hoy en día la gente tiene que pagar para que secuencien su ADN, con la esperanza de que lo que averigüen les ayudará a mantener su salud y a evitar enfermedades que podrían afectarles en el futuro.

En último lugar, el proyecto del genoma es un revelador ejemplo de la publicidad que rodea en la actualidad el ámbito científico. Los científicos deben competir por una financiación escasa, y a veces exagerar la importancia de sus investigaciones para obtener fondos. Los periodistas cubren sus historias y lo hacen con el brillo más dramático posible, puesto que la ciencia ordinaria no es noticia. El anuncio de cada nuevo descubrimiento o avance genera entre el público expectativas de que una nueva cura o tratamiento están a la vuelta de la esquina, pero en la mayoría de casos, hace falta mucho tiempo para que sus efectos sean percibidos. El conocimiento se amplía cada día y hay nuevas terapias que se van introduciendo de forma regular, pero la ciencia avanza a su propio ritmo, y la publicidad de los medios rara vez da en el clavo.

A pesar de todo, supone un gran logro haber conseguido leer el genoma humano, puesto que nos proporciona un conocimiento mucho más preciso sobre la salud y la enfermedad. Con el tiempo, nos ayudará a desarrollar nuevos medicamentos contra el cáncer, la cardiopatía, la diabetes, la demencia y otras afecciones mortales de los tiempos modernos. Gracias a este importante trabajo que implica a científicos de muchos campos y países, podemos aspirar a vivir vidas más sanas.



El Big Bang

Si se hubiera rodado una película sobre la historia del universo, ¿qué ocurriría si la reprodujeras hacia atrás? Hace unos cinco mil millones de años, nuestro planeta desaparecería, puesto que es entonces cuando probablemente se formó a partir de detritos de nuestro sistema solar. Si seguimos retrocediendo hacia el principio, ¿qué encontraremos? El Big Bang, una explosión tan intensa que su temperatura y su fuerza aún son perceptibles trece mil ochocientos millones de años después.

Esto es al menos lo que los científicos de los años cuarenta empezaron a apuntar con una certeza cada vez mayor. El universo había empezado en un punto, en un estado inimaginablemente denso y caliente, y luego vino la gran explosión. Desde entonces, el universo se ha ido enfriando y expandiendo, al tiempo que aleja las galaxias de su ubicación original. Nuestro universo es dinámico y excitante, y dentro de él no somos más que una minúscula mota de polvo. Está formado por estrellas, planetas y cometas que conforman las galaxias visibles, aunque también hay en él muchas cosas invisibles: los agujeros

negros y las más abundantes «materia oscura» y «energía oscura».

Así pues, ¿ocurrió de verdad el Big Bang, y puede éste explicar el universo? Por supuesto, no había nadie allí para empezar a filmar. ¿Y qué ocurrió justo antes del Big Bang? Se trata de preguntas que es imposible responder con certeza, que implican mucha física de vanguardia así como la cosmología (el estudio del universo), y que a lo largo del último medio siglo han generado un gran debate que aún sigue vigente.

Aproximadamente en 1800, el newtoniano francés Laplace presentó su hipótesis nebular (capítulo 18), cuya principal afirmación era que el sistema solar se había desarrollado a partir de una nube de gas gigante. Con ella, mucha gente se convenció de que la historia de la Tierra se remontaba a mucho tiempo atrás, cosa que podía explicar sus características, como el calor de su centro, los fósiles y otros rasgos geológicos. Muchos científicos del siglo XIX discutieron apasionadamente sobre la antigüedad de la Tierra y de nuestra galaxia, la Vía Láctea. En las primeras décadas del siglo XX, dos planteamientos alteraron las preguntas de forma radical.

El primero fue la teoría de la relatividad general de Einstein, con sus relevantes implicaciones respecto al tiempo y el espacio (capítulo 32). Al insistir en que ambos estaban íntimamente relacionados y constituían un «espacio-tiempo», añadió una nueva dimensión al universo. El trabajo matemático de Einstein también demostraba que el universo era curvo, de modo que la geometría de Euclides no proporcionaba una explicación adecuada a las vastas dimensiones del espacio. En el universo euclidiano, las líneas

paralelas se extienden hasta el infinito sin llegar nunca a tocarse, pero esta percepción presupone que el espacio es plano. En un mundo euclidiano plano, la suma de los ángulos de un triángulo da siempre 180 grados, pero si mides un triángulo en un globo con superficie curva, el cálculo no sirve. Y si el propio espacio es curvo, nos hace falta una forma distinta de matemáticas.

Tras aceptar la verdad esencial del brillante trabajo de Einstein, los físicos y los cosmólogos tenían nuevas cosas en las que pensar. Mientras que la revolución que él introdujo era sobre todo teórica, el segundo gran avance en cosmología no lo era, sino que se basaba en las observaciones, sobre todo en las del astrónomo estadounidense Edwin Hubble (1889-1953). Hubble se hizo famoso en 1990, cuando un transbordador espacial puso en órbita alrededor de la Tierra un telescopio espacial bautizado con su nombre. El Telescopio Espacial Hubble ha desvelado recientemente mucho más de lo que él pudo ver con su telescopio en el observatorio de Mount Wilson en California. En los años veinte, Hubble vio más allá de lo que ningún astrónomo había visto antes. Gracias a ello, demostró que nuestra galaxia, la Vía Láctea, no es ni siquiera el principio del fin del universo, sino una más entre los incontables miles de galaxias que se extienden mucho más allá de donde alcanzan nuestros telescopios.

Los cosmólogos también recuerdan a Hubble por el número especial, la «constante», asociado a su nombre. (Es posible que recuerdes la constante de Planck, que era una idea similar.) Cuando la luz se aleja de nosotros, desplaza el espectro de sus ondas hacia el extremo rojo del espectro visible, un fenómeno que se denomina «desplazamiento

hacia el rojo». Si la luz se acerca a nosotros, sus ondas se desplazan hacia el otro extremo del espectro, el «desplazamiento hacia el azul». Se trata de un efecto que los astrónomos pueden medir con facilidad, y se produce debido al mismo fenómeno que hace que los trenes suenen diferente cuando se acercan o se alejan. Lo que vio Hubble es que la luz de las estrellas muy distantes tiene desplazamientos hacia el rojo y, cuanto más lejos se encuentran, mayor es el desplazamiento. Eso le indicó que las estrellas se están alejando de nosotros, y cuanto más lejos están, más rápido se mueven. El universo se está expandiendo, y parece hacerlo a un ritmo creciente. Hubble midió la distancia de las estrellas y la extensión del desplazamiento al rojo, y al plasmar sus mediciones en un gráfico el resultado fue una línea bastante recta. A partir de ahí calculó la «constante de Hubble», que publicó en un artículo muy relevante en 1929. Este extraordinario número proporcionó a los cosmólogos un método para calcular la edad del universo.

Desde entonces, la constante de Hubble se ha afinado. Gracias a nuevas observaciones, se han encontrado estrellas aún más lejanas, y ahora podemos realizar mediciones más precisas del desplazamiento hacia el rojo. Un año luz equivale a unos diez billones de kilómetros. Un rayo de Sol tarda sólo ocho minutos en alcanzar la Tierra. Si ese rayo rebotara de vuelta hacia el Sol podría hacer treinta y dos mil viajes de ida y vuelta en un año, lo cual constituye otro medio de apreciar las enormes distancias de las que estamos hablando. Y las enormes cantidades de tiempo. Parte de lo que vemos en el cielo nocturno es luz que empezó su viaje hace mucho tiempo desde una estrella que ahora ya se ha

extinguido. Para obtener un valor verdaderamente preciso de la constante de Hubble, es necesario saber con exactitud a qué distancia se encuentran de nosotros estas lejanas estrellas y galaxias. Pero incluso con estas dificultades, la importancia de la constante reside en que puede decirnos de forma aproximada cuánto tiempo llevan viajando. El resultado es la edad del universo, tomando como punto de partida el Big Bang.

El Big Bang se popularizó en la década de los cuarenta gracias a George Gamow (1904-1968), un peculiar físico de origen ruso que se trasladó a Estados Unidos a principios de los años treinta. Tenía una mente muy creativa y contribuyó con sus ideas no sólo a la biología molecular sino también a la física y a la teoría de la relatividad. Junto con un colega, estudió el procedimiento por el cual el núcleo de un átomo emitía electrones (partículas beta). A gran escala, analizó cómo se formaban las nebulosas (nubes enormes de partículas calientes y polvo cósmico). Su teoría sobre el Big Bang, que elaboró a partir de 1948 con ayuda de otros colegas, se apoyaba en el conocimiento de los componentes más pequeños de los átomos, combinado con un modelo de lo que debía de haber ocurrido cuando comenzó el universo.

Primero los componentes: las partículas y las fuerzas. A finales de los años cuarenta, este ámbito de la física recibió el nombre de «electrodinámica cuántica» (EDC). Uno de los hombres que ayudó a darle forma fue el físico estadounidense Richard Feynman (1918-1988), famoso por los diagramas que dibujó (a veces sobre servilletas de restaurantes) para explicar sus teorías y sus argumentos matemáticos, y por tocar los bongos. Fue galardonado con el premio Nobel en 1965, sobre todo por su trabajo en EDC, que

proporcionó la base matemática para describir incluso las partículas y fuerzas más pequeñas, que examinaremos a continuación.

Tras el final de la Segunda Guerra Mundial, los físicos de partículas continuaron acelerando los átomos y luego las partículas en aceleradores cada vez más potentes. Los aceleradores son capaces de desintegrar los átomos en sus partículas subatómicas, que es el proceso inverso al que debió de suceder pocos instantes después del Big Bang. Justo después de éste, a medida que comenzaba el enfriamiento, los bloques constitutivos de la materia empezaron a formarse. A partir de las partículas surgirían los átomos, y de los átomos los elementos, y así hasta llegar a los planetas y las estrellas.

Como nos indica la ecuación de Einstein, $E = mc^2$, con las velocidades cada vez mayores de los aceleradores (que alcanzan casi la velocidad de la luz), la mayor parte de la masa se convierte en energía. Los físicos descubrieron que estas partículas tan rápidas hacían algunas cosas fascinantes. El electrón no sufre ningún cambio en el acelerador, y forma parte de una familia de partículas-fuerza, los «leptones». El protón y el neutrón resultaron estar formados por partículas aún más pequeñas llamadas «quarks». Existen varias clases distintas, cada una con su carga correspondiente, y agrupadas en tríos forman un neutrón o un protón.

En el universo existen cuatro fuerzas básicas. Entender cómo se relacionan unas con otras ha sido una de las principales misiones de la ciencia en el siglo XX. La más débil es la «gravedad», pero actúa a una distancia infinita; todavía no se ha entendido por completo, aunque llevamos preguntándonos por ella desde la manzana de Newton. El

electromagnetismo está implicado en muchos aspectos de la naturaleza; mantiene a los electrones en su órbita y, como luz, nos informa a diario de que el Sol sigue brillando. En el átomo existen también la «fuerza nuclear fuerte» y la «débil», que unen las partículas en el núcleo del átomo.

Dejando de lado la gravedad, las otras fuerzas actúan a través del intercambio de unas partículas especiales (portadoras de fuerza) llamadas «bosones». Entre ellas se incluye el fotón, el cuanto de la luz de Einstein, que es el bosón del electromagnetismo. Aun así, quizá el bosón más famoso sea el que no se encuentra: el bosón de Higgs. Los físicos de partículas llevan buscándolo desde los años sesenta. Se cree que es capaz de generar masa en otras partículas, y su descubrimiento ayudaría a explicar cómo obtuvieron las partículas su masa justo después del Big Bang. En el acelerador de partículas más grande del mundo, el Gran Acelerador de Partículas (LHC, por sus siglas en inglés), cerca de Ginebra, los científicos creyeron ver un destello de él en sus instrumentos en 2012. El LHC lo construyó entre 1998 y 2008 la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN), que a su vez fue fundada en 1954. Se trataba de una iniciativa científica cooperativa entre varios países europeos, resultado del alto coste de la investigación en física y la necesidad de numerosos científicos, técnicos y personal informático para realizar e interpretar estos experimentos relacionados con la materia y la energía.

El bosón de Higgs constituiría una pieza extremadamente útil (aunque no la última) del puzle conocido como «modelo estándar», que lo explica todo excepto la gravedad. Y un modelo estándar confirmado nos

acercaría a una teoría del todo, posiblemente a través de la teoría de cuerdas, un enfoque para analizar todas estas fuerzas y partículas. La teoría de cuerdas se basa en la asunción de que las fuerzas fundamentales de la naturaleza pueden estudiarse como si fueran cuerdas vibratorias de una sola dimensión, y utiliza matemáticas muy avanzadas. La ciencia todavía se ocupa de este trabajo.

Resulta difícil asociar gran parte de esta física de partículas a nivel micro con el mundo cotidiano en el que vivimos, pero los científicos encuentran cada vez más formas de aplicarla a la energía nuclear, la televisión, los ordenadores, la computación cuántica y el equipo para realizar pruebas médicas. Más allá de estos importantes usos en nuestra vida cotidiana, hay aún muchas cosas que descubrir, puesto que el Big Bang ha encontrado su lugar en lo que puede y no puede verse en los confines del cosmos.

En los años veinte, el físico ruso Alexander Friedman (1888-1925) fue uno de los que aplicaron la teoría de la relatividad general de Einstein a su propia comprensión matemática del universo. Sus ecuaciones proporcionan normas para describir el universo en expansión. Friedman también se preguntaba si era relevante mirar las estrellas desde la Tierra; para nosotros es un lugar especial, pero ¿nos proporciona eso un punto de vista singular para observar el universo? Él afirmó que no. Se trata tan sólo del lugar donde resulta que estamos, pero las cosas no serían distintas si estuviéramos en cualquier otro planeta a muchos años luz. Es lo que se conoce como «constante cosmológica de Friedman», que nos provee de otra importante idea: que la materia está distribuida de forma uniforme por todo el universo. Por supuesto, hay variaciones locales; la Tierra,

por ejemplo, es mucho más densa que la atmósfera circundante. Pero aplicado a todo el espacio, el principio parece ser cierto. Hoy en día, los cosmólogos siguen basando gran parte de sus investigaciones en los modelos de Friedman. También tienen que enfrentarse a aspectos misteriosos, como los agujeros negros y la materia oscura.

Dos miembros de la Royal Society discutieron la idea de una «estrella oscura» en el siglo XVIII. Describir su equivalente actual, el agujero negro, fue la tarea de un genio matemático moderno, Roger Penrose (1931), y un brillante físico teórico, Stephen Hawking (1942). Hasta su jubilación, Hawking ocupó el antiguo puesto de Newton como profesor lucasiano de Matemáticas en la Universidad de Cambridge. Juntos, Penrose y él explicaron por qué era fácil imaginar los agujeros negros pero, por supuesto, imposible verlos; la razón era que su existencia se debía a zonas del espacio en que las estrellas moribundas se habían encogido de forma gradual. A medida que la materia restante se agrupaba con más densidad, las fuerzas de la gravedad aumentaban hasta tal extremo que los fotones de luz se ven atrapados y no pueden salir.

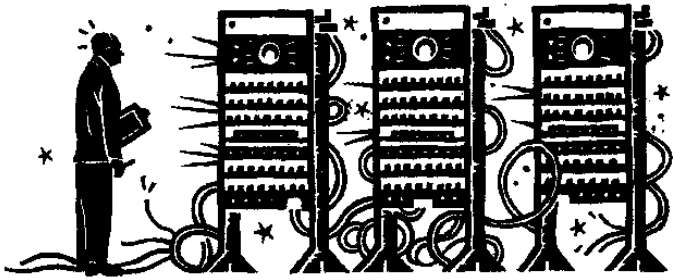
También existen agujeros negros supermasivos. En 2008 se confirmó la existencia del súper agujero negro de la Vía Láctea, Sagitario A, tras una búsqueda telescópica de dieciséis años desde Chile. Un grupo de astrónomos liderado por el alemán German Reinhard Genzel (1952) observó los patrones de las estrellas que orbitaban alrededor del agujero negro en el centro de la galaxia. Utilizaron mediciones de luz infrarroja debido a la gran cantidad de polvo estelar existente entre nosotros y el agujero negro, a veintisiete mil años luz de distancia.

Es posible que estos agujeros negros supermasivos jueguen algún papel en la formación de las galaxias y estén relacionados con otra parte del espacio que no podemos ver de forma directa: la materia oscura. Se cree que ésta ocupa una parte mucho mayor del universo (el ochenta por ciento de su materia) que el cuatro por ciento de las estrellas y los planetas visibles junto con el gas y el polvo cósmico. La primera mención a la materia oscura data de los años treinta, y servía para explicar por qué amplias zonas del universo no se comportaban exactamente como se había predicho. Los científicos se dieron cuenta de que existía una discordancia entre la masa de las partes visibles y sus efectos gravitacionales: había algo que no aparecía en el dibujo. En los años setenta, la astrónoma Vera Rubin (1928) elaboró una carta donde se reflejaba la velocidad a la que se desplazaban las estrellas en el borde de las galaxias, y el resultado fue que se movían mucho más rápido de lo que deberían haberlo hecho. Tradicionalmente se creía que cuanto más alejadas estaban del centro de la galaxia, más lentamente orbitaban. La materia oscura proporcionaría la gravedad extra necesaria para acelerar las estrellas. De este modo se demostró de forma indirecta la prueba de la existencia de la materia oscura, que ha sido comúnmente aceptada. A pesar de ello, su naturaleza exacta sigue siendo un misterio, una cosa más que deberá ser encontrada o descartada en el futuro.

La cosmología moderna ha surgido gracias a las teorías de Einstein, a los miles y miles de observaciones, con la ayuda de los ordenadores para analizar los datos, y a la idea del Big Bang de Gamow. Como cualquier buena teoría científica, el Big Bang ha cambiado desde la época de

Gamow. De hecho, dos o tres décadas después de su publicación en 1948, a los físicos apenas les preocupaban los orígenes del universo. El Big Bang debía competir con otro modelo del universo, conocido como «estado estacionario» y relacionado sobre todo con el astrónomo Fred Hoyle (1915-2001). El modelo de Hoyle disfrutó de cierto respaldo en los años cincuenta. Lo que describía era un universo infinito, con la creación continua de materia nueva; en este modelo, el universo no tiene principio ni fin. Pero la idea del estado estacionario presentaba tantas dificultades que su vida científica fue muy breve.

En la actualidad los físicos disponen de información sobre partículas y fuerzas efímeras recabada en los aceleradores de partículas, así como de las observaciones de los confines más alejados del cosmos. De este modo han podido perfilar lo que sabemos del Big Bang y, aunque sigue habiendo mucha controversia sobre los detalles, e incluso sobre algunos de los principios fundamentales, no se trata de un fenómeno inusual en ciencia. El modelo del Big Bang encaja con muchas de las mediciones que podemos realizar en la actualidad, incluidos el desplazamiento al rojo de estrellas muy distantes, la radiación cósmica y las fuerzas atómicas fundamentales. Asimismo, puede acomodar los agujeros negros y la materia oscura. Lo que no hace el modelo es explicar *por qué* tuvo lugar el Big Bang, pero ya hemos dicho que la ciencia trata del cómo, no del por qué. Como en todos los campos de la ciencia, algunos científicos tienen creencias religiosas y otros no, y así es como debe ser. La mejor ciencia es la que se lleva a cabo en un ambiente de tolerancia.



La ciencia en nuestra era digital

La próxima vez que enciendas el ordenador, seguramente no lo usarás para calcular (la palabra *computer*, «ordenador» en inglés, deriva de *compute,* «calcular»). Lo más probable es que busques alguna cosa en internet, escribas un correo electrónico a un amigo o consultes el resultado del último partido de fútbol. Pero en un su origen, los ordenadores eran sólo máquinas que podían realizar cálculos con mucha más rapidez y precisión que nuestro cerebro.

Consideramos que los ordenadores son tecnología de última generación, pero en realidad la idea es muy antigua. En el siglo XIX, el matemático británico Charles Babbage (1792-1871) diseñó una calculadora que podía «programarse» para realizar trucos. Por ejemplo, podía configurarla para que contara de uno en uno hasta 1.000.000 y que, al llegar allí, saltara al 1.000.002. Cualquiera que la hubiera observado pacientemente contar hasta 1.000.000 se habría sorprendido ante el número desaparecido. El propósito de Babbage era mostrar que esta máquina podía hacer cosas que uno no esperaría en el curso normal de la naturaleza.

A finales de la primera década del siglo XIX, el matemático estadounidense Herman Hollerith (1860-1929) inventó una máquina eléctrica que utilizaba tarjetas perforadas para analizar grandes cantidades de datos. Si las tarjetas estaban correctamente perforadas y se introducían en la máquina, ésta podía «leerlas» y procesar la información. La máquina de Hollerith resultaba muy útil para clasificar los datos que la gente aportaba en los formularios del censo, recogidos para ayudar al Gobierno a saber más sobre la población. Podía calcular con gran rapidez datos básicos, como cuánto ganaba la gente, cuántas personas vivían en cada núcleo familiar o sus edades y sexos. La tarjeta perforada siguió siendo el sistema de funcionamiento de la mayoría de los ordenadores hasta la Segunda Guerra Mundial.

Durante la contienda, los ordenadores se desarrollaron con propósitos militares. Podían calcular el alcance de los proyectiles y jugaron un papel fundamental en el intento secreto de decodificar los mensajes del enemigo. Tanto los alemanes como los británicos y los estadounidenses fabricaron ordenadores que con el objetivo de contribuir a la seguridad en tiempos de guerra, lo cual no deja de ser irónico: los ordenadores modernos han abierto el mundo a todos, pero en su origen muy pocas personas, con autorizaciones al más alto nivel, tenían acceso a ellos.

Los británicos y los estadounidenses utilizaban los ordenadores para analizar los mensajes codificados alemanes. El centro de operaciones de los esfuerzos británicos para lograrlo era una vieja casa rural llamada Bletchley Park, en Buckinghamshire. Los alemanes usaban dos máquinas para el cifrado: Enigma y Lorenz, y los

códigos se cambiaban cada día, lo cual obligaba a las máquinas decodificadoras a ser muy adaptables. Los británicos diseñaron dos: la Bomba y Colossus. Este último nombre resultaba especialmente adecuado, en tanto estos ordenadores eran máquinas enormes que ocupaban habitaciones enteras y consumían grandes cantidades de electricidad. Los ordenadores usaban una serie de tubos de vacío para intercambiar las señales eléctricas. Dichos tubos generaban mucho calor y fallaban constantemente; por ello, las filas de tubos estaban separadas por amplios pasillos que permitían a los técnicos reemplazar con facilidad los filamentos quemados. En aquella época, el término «depurar» no hacía referencia a la detección de errores en los programas de *software*, sino a entrar a limpiar los bichos (polillas o moscas) que se habían metido en el tubo de cristal caliente y producido un cortocircuito. Los decodificadores redujeron la duración de la guerra y sin duda ayudaron a los aliados a ganarla.

En Bletchey Park trabajaba un notable matemático, Alan Turing (1912-1954), ex estudiante de mi antigua facultad en Cambridge, el King's College, donde a principios de los años treinta su brillantez como alumno fue reconocida por todos. Había publicado importantes artículos sobre matemática computacional, y su trabajo en Bletchey Park fue espectacular. Tras la guerra, siguió desarrollando sus ideas y realizó grandes avances en las similitudes entre el modo de funcionar de los ordenadores y el de nuestros cerebros, en la inteligencia artificial e incluso en el desarrollo de una máquina que podía jugar al ajedrez. Los grandes maestros del ajedrez siguen ganando por lo general a los ordenadores, pero las máquinas están mejorando a la hora de elegir el

mejor movimiento. Turing participó en la fabricación de un ordenador electrónico llamado ACE en el laboratorio nacional de física de Teddington, en Londres, con una capacidad de cálculo mucho mayor. Su vida tuvo un trágico final: era gay en una época en que la homosexualidad estaba prohibida en Reino Unido, y tras ser arrestado por la policía se sometió a un tratamiento con hormonas sexuales para «curarse». Es casi seguro que se suicidó al comer una manzana envenenada con estricnina. Su vida y su muerte constituyen un recordatorio de que los científicos notables pueden ser de cualquier raza, género, religión y tendencia sexual.

Las enormes máquinas construidas durante la guerra eran valiosas, pero las válvulas que se sobrecalentaban limitaban sus funciones. A continuación vino un invento que ha cambiado el mundo de los ordenadores y muchas cosas más: el transistor. Desarrollado a finales de 1947 por John Bardeen (1908-1991), Walter Brattain (1902-1987) y William Shockley (1910-1989), se trata de un aparato que puede ampliar y rectificar las señales electrónicas. Los transistores eran mucho más pequeños que los tubos de vacío y generaban mucho menos calor, y se han utilizado para fabricar todo tipo de aparatos electrónicos, como los transistores de radio, mucho más pequeños y eficaces. Los tres hombres compartieron el Nobel de física por su trabajo, y Bardeen fue galardonado con un segundo por su investigación en «semiconductores», el material que ha posibilitado la existencia de los transistores y los circuitos modernos.

Los militares continuaron avanzando en el campo de la informática durante la Guerra Fría, entre 1945 y 1991. Las dos grandes superpotencias, Estados Unidos y la Unión

Soviética, desconfiaban una de la otra a pesar de haber sido aliadas durante la Segunda Guerra Mundial. Los ordenadores se usaban para analizar los datos recabados por cada país sobre las actividades del otro. Sin embargo, los cada vez más potentes ordenadores capaces de procesar cifras también eran de gran ayuda para los científicos. En los años sesenta, los físicos hicieron un gran uso de estas máquinas nuevas y cada vez mejores. Los aceleradores de partículas de alta energía generaban tantos datos que a un ejército de personas armadas con lápices y papel le habría resultado imposible analizarlos todos.

Cada vez más, los expertos en informática se integraron en los equipos científicos, y en el presupuesto de los proyectos se incluía su sueldo y su equipo. Así pues, parecía lógico que un equipo pudiera comunicarse con otro no en persona, sino a través de los ordenadores; al fin y al cabo, el teléfono se había inventado hacia un siglo y el telégrafo mucho antes. Así, a principios de los años sesenta, se desarrolló la «conmutación de paquetes», que permitía dividir los mensajes digitales en unidades más pequeñas, cada una de las cuales viajaría por la ruta más sencilla y al final se reagruparía con el resto en su destino: la pantalla del ordenador receptor. Al hablar por un teléfono fijo, lo haces en «tiempo real» y nadie más puede llamarte, pero al mandar o recibir un mensaje en un ordenador –un correo electrónico o un *post* en una página web–, éste estará disponible siempre que alguien quiera leerlo.

La conmutación de paquetes se desarrolló de forma simultánea en Estados Unidos y el Reino Unido. Como aspecto de seguridad nacional, permitía a los militares y líderes políticos comunicarse unos con otros, y seguiría

funcionando aún en el caso de que se destruyeran algunas de las instalaciones de comunicación. La conmutación de paquetes facilitaba la posibilidad de conectar grupos de ordenadores uniéndolos en «red». Una vez más, el primer colectivo no militar que trabajó en red fue el de los científicos. La ciencia moderna se beneficia en gran medida de la colaboración, y las comunidades académicas fueron las principales beneficiarias de los ordenadores cada vez más pequeños y más rápidos de los años sesenta, aunque comparados con los que usamos hoy en día eran extremadamente grandes, lentos y caros. Pese a ello, tal vez te sientas aliviado al saber que ya entonces se jugaba con los videojuegos, es decir, que la diversión empezó pronto. En los años setenta, la senda del cambio en informática se aceleró. Los ordenadores –o microordenadores, como se les llamaba entonces– con una pantalla y un teclado redujeron lo suficiente su tamaño para poder usarse sobre un escritorio. A medida que los microprocesadores que contenían se volvían más pequeños, empezó la revolución del ordenador personal. Gran parte de las investigaciones se llevaron a cabo en Silicon Valley, en California.

Los ordenadores siguieron cambiando el modo en que las comunidades académicas trabajaban y se comunicaban entre sí. Uno de los grupos de físicos más numeroso trabajaba en la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN, por sus siglas en inglés), que alberga el Gran Acelerador de Partículas (LHC), el acelerador más rápido del mundo (véase el capítulo 39). Los expertos en informática del CERN llevaron el trabajo en red y el análisis de datos a un nuevo nivel en los años ochenta y noventa. Uno de ellos era Tim Berners-Lee (1955), que siempre se había sentido fascinado por los

ordenadores y que había crecido con ellos, pues tanto su padre como su madre fueron pioneros en este campo. Berners-Lee estudió Física en Oxford y luego fue a trabajar al CERN, donde, en 1989, solicitó financiación para investigar la «gestión de información». Sus jefes le proporcionaron algo de ayuda, pero él perseveró en su idea de conseguir que la cantidad cada vez mayor de información estuviera disponible con facilidad en internet para cualquiera que dispusiera de un ordenador y línea telefónica. Fue él quien, junto con su colega Robert Cailliau (1947) inventó la red de redes mundial (*world wide web,* o www). En un principio se usaba sólo en el CERN y uno o dos laboratorios de física más, hasta que en 1993 llegó al gran público coincidiendo con el aumento masivo del uso de ordenadores personales no sólo en el trabajo sino también en casa. Las personas que lideraron la revolución del ordenador personal, como Bill Gates (1955) con su compañía Microsoft y Steve Jobs (1955-2011) con Apple, son los héroes científicos de la modernidad (y se hicieron muy ricos). Así pues, 1955 resultó ser un buen año para los ordenadores: tanto Berners-Lee como Gates y Jobs nacieron ese año.

La velocidad en el desarrollo de los ordenadores desde los años setenta emuló el ritmo de creación de métodos para secuenciar el genoma, lo cual no es una casualidad. La ciencia moderna resultaría impensable sin los ordenadores actuales. Muchas cuestiones científicas fundamentales, desde el diseño de nuevos fármacos hasta los modelos del cambio climático, dependen de estas máquinas. En casa, los usamos para hacer los deberes, reservar billetes para las vacaciones o jugar a videojuegos. Nuestros aviones vuelan gracias a los sistemas integrados, que también permiten las imágenes

médicas y lavar nuestra ropa. Igual que la ciencia moderna, la vida moderna depende de los ordenadores.

No debería sorprendernos. Una de las cosas que he intentado demostrar en este pequeño libro es que en cualquier momento de la historia, la ciencia ha sido un producto de ese momento concreto. El momento de Hipócrates era distinto del de Galileo o el de Lavoisier. Todos ellos se vestían, comían y pensaban como otra gente de su época. Las personas que aparecen en este libro tenían más agudeza mental que la mayoría de sus contemporáneos, y eran capaces de comunicar sus ideas; ésta es la razón de que valga la pena recordar lo que pensaron y escribieron.

Aun así, la ciencia actual es más poderosa de lo que nunca había sido antes. Los ordenadores son tan útiles a los criminales y los *hackers* como a los científicos y estudiantes. Es tan fácil abusar de la ciencia y la tecnología como usarlas para el bien común. Necesitamos buenos científicos, pero también buenos ciudadanos que se aseguren de que nuestra ciencia haga del mundo un lugar mejor donde vivir.

Índice

1 Los comienzos
2 Agujas y números
3 Los átomos y el vacío
4 El padre de la medicina: Hipócrates
5 «El maestro de los que saben»: Aristóteles
6 El médico del emperador: Galeno
7 La ciencia en el islam
8 Abandonar la oscuridad
9 En busca de la piedra filosofal
10 El descubrimiento del cuerpo humano
11 ¿Dónde está el centro del universo?
12 Torres inclinadas y telescopios: Galileo
13 Gira y gira: Harvey
14 El conocimiento es poder: Bacon y Descartes
15 La «nueva química»
16 Todo lo que sube…: Newton
17 Chispas luminosas
18 El universo mecánico
19 Ordenar el mundo
20 Aires y gases
21 Porciones diminutas de materia
22 Fuerzas, campos y magnetismo
23 Desenterrar dinosaurios
24 La historia de nuestro planeta
25 El mayor espectáculo de la Tierra
26 Pequeñas cajas de vida
27 Toses, estornudos y enfermedades
28 Motores y energía
29 La tabla de los elementos
30 Dentro del átomo
31 Radiactividad
32 El visionario: Einstein
33 Continentes en movimiento
34 ¿Qué es lo que heredamos?

35 ¿De dónde venimos?
36 Fármacos asombrosos
37 Piezas fundamentales
38 Leer «el libro de la vida»: El Proyecto Genoma Humano
39 El Big Bang
40 La ciencia en nuestra era digital

Edición al cuidado de María Cifuentes

Título de la edición original: *A Little History of Science*
Traducción del inglés: Begoña Prat Rojo

Publicado por:
Galaxia Gutenberg, S.L.
Av. Diagonal, 361, 1.º 1.ª A
08037-Barcelona
info@galaxiagutenberg.com
www.galaxiagutenberg.com

Edición en formato digital: marzo de 2014

© William Bynum, 2012
© de la traducción: Begoña Prat Rojo, 2014
© Galaxia Gutenberg, S.L., 2014
Imagen de cubierta: © Estudio Pep Carrió

Conversión a formato digital: Maria Garcia
Depósito legal: B. 24111-2013
ISBN: 978-84-16072-11-8

Índice

1. Los comienzos 5
2. Agujas y números 13
3. Los átomos y el vacío 24
4. El padre de la medicina: Hipócrates 31
5. «El maestro de los que saben»: Aristóteles 38
6. El médico del emperador: Galeno 46
7. La ciencia en el islam 53
8. Abandonar la oscuridad 58
9. En busca de la piedra filosofal 65
10. El descubrimiento del cuerpo humano 73
11. ¿Dónde está el centro del universo? 81
12. Torres inclinadas y telescopios: Galileo 90
13. Gira y gira: Harvey 98
14. El conocimiento es poder: Bacon y Descartes 106
15. La «nueva química» 115
16. Todo lo que sube…: Newton 123
17. Chispas luminosas 133
18. El universo mecánico 141
19. Ordenar el mundo 151
20. Aires y gases 160
21. Porciones diminutas de materia 169

22. Fuerzas, campos y magnetismo 179
23. Desenterrar dinosaurios 188
24. La historia de nuestro planeta 197
25. El mayor espectáculo de la Tierra 206
26. Pequeñas cajas de vida 217
27. Toses, estornudos y enfermedades 226
28. Motores y energía 238
29. La tabla de los elementos 246
30. Dentro del átomo 256
31. Radiactividad 265
32. El visionario: Einstein 275
33. Continentes en movimiento 284
34. ¿Qué es lo que heredamos? 292
35. ¿De dónde venimos? 303
36. Fármacos asombrosos 313
37. Piezas fundamentales 323
38. Leer «el libro de la vida»: El Proyecto Genoma Humano 331
39. El Big Bang 339
40. La ciencia en nuestra era digital 350
Índice 358