



«Como se reconoce al león por sus garras.» Esta expresión que utilizó el matemático suizo Johann Bernoulli cuando reconoció un texto de Newton que aparecía sin firma, le sirve a José Manuel Sánchez Ron como título para esta interesantísima recopilación de textos originales de grandes científicos. Esta obra es una gran oportunidad para conocer a los grandes maestros de la ciencia mediante una cuidada selección de sus propios textos en los que explican sus descubrimientos y razonamientos científicos. Aristóteles, Euclides, Platón, Newton, Galileo, Einstein... una antología de lo mejor de cada uno de estos genios de la humanidad. Una antología, además, personal, en la que el autor da una viveza sorprendente a los textos científicos a través de sus comentarios y opiniones.

DEBATE
EDITORIAL

COMO AL LEÓN POR SUS GARRAS

JOSE MANUEL
SANCHEZ
RON

DEBATE

E057

COMO AL LEÓN POR SUS GARRAS



JOSE MANUEL
SANCHEZ RON

Antología personal de momentos
estelares de la Ciencia

DEBATE
EDITORIAL

Sumario

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del *copyright*, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidas la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella, mediante alquiler o préstamo público.

Primera edición: mayo 1999

© José Manuel Sánchez Ron, 1999

© De la presente edición, Editorial Debate, S.A.,
O'Donnell, 19, 28009 Madrid

I.S.B.N.: 84-8306-183-X

Depósito Legal: B. 13.076-1999

Compuesto en VERSAL A.G., S.L.

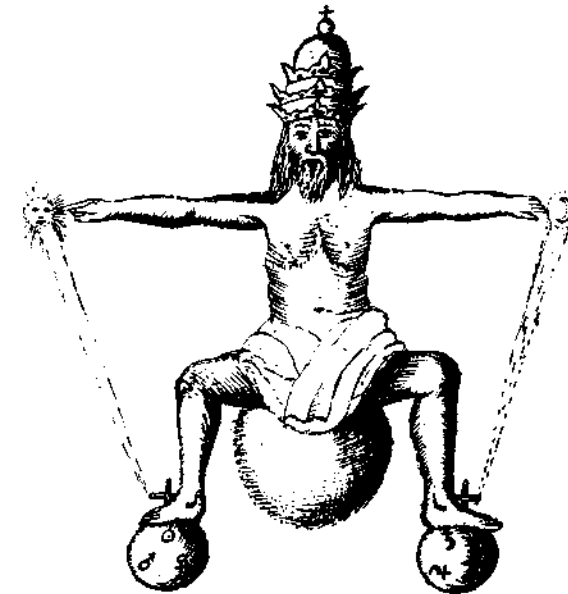
Impreso en A&M Gráfico, Santa Perpetua de Mogoda (Barcelona)

Impreso en España (*Printed in Spain*)

Introducción.....	7
1 La responsabilidad del médico: Hipócrates	11
2 El círculo, la figura perfecta: Platón.....	14
3 Diálogos a través del tiempo: Heisenberg y Platón	17
4 La precisión del razonamiento matemático: Euclides	23
5 En su reino (científico) no se ponía el Sol: Aristóteles ..	27
6 ¡Eureka!: Arquímedes.....	30
7 Átomos y vacío: Lucrecio.....	33
8-9 1543, <i>Annus mirabilis</i> : Vesalio y Copérnico	38
10 Contra Aristóteles: Galileo.....	50
11 La circulación de la sangre: Harvey.....	57
12 El último de los antiguos y el primero de los modernos: Newton.....	62
13 La última esperanza de la metafísica: Leibniz	69
14 Compartir con otros: las <i>Philosophical Transactions</i>	73
15 La primera transfusión de sangre: Lower.....	75
16 El problema del alma y el cuerpo: Euler.....	79
17 Revolución en la química: Lavoisier.....	83
18 La función crea el órgano: Lamarck.....	89
19 Climax newtoniano: Laplace.....	94
20-22 La Tierra: Humboldt, Lyell, Kelvin.....	97
23 La lucha por la vida: Malthus.....	103
24 «Es como confesar un crimen»: Darwin.....	106
25 Polémicas en torno a la evolución: Huxley.....	112
26-27 El final del vitalismo: Bichat y Helmholtz	116
28 Una medicina científica: Bernard.....	121
29 Maxwell sobre Faraday.....	125
30 Sinfonías físico-matemáticas: Boltzmann sobre Maxwell ..	131
31 Arquitectura molecular: Kekulé.....	134
32 Geometrías multidimensionales: Riemann.....	138
33 La teoría microbiana de las infecciones: Koch	141

34	La vacunación contra la rabia: Pasteur.....	147
35-36	Sobre herencias y razas (I): Lombroso y Galton.....	155
37	Matemáticas, política y nacionalismo: Echegaray.....	165
38	Los reflejos condicionados: Pávlov.....	170
39	El descubrimiento de la «célula del pensamiento»: Cajal ..	176
40	Un mundo (electrónico) nuevo.....	185
41	Un descubrimiento casual: Becquerel.....	187
42	Ciencia y mito: Marie Curie.....	191
43	El explorador de lo oculto: Freud.....	196
44	Un acto de desesperación: Planck.....	201
45	La teoría de la relatividad: Einstein.....	204
46	Indefensión ante lo nuevo (la relatividad): Lodge.....	212
47-48	El desvanecimiento de la realidad: Heisenberg y Born ..	215
49	Física cuántica y filosofía: Bohr.....	220
50	Dios no juega a los dados: Einstein a Born.....	226
51	La pasión por conocer: Russell.....	228
52	El valor (inmortal) de la matemática: Hardy.....	231
53	Física y belleza matemática: Dirac.....	234
54	Energía nuclear y política: Einstein y Roosevelt ..	239
55	Ciencia y género: Cecilia Payne-Gaposchkin.....	242
56	La deriva de los continentes: Wegener.....	248
57	La idea del gen: Morgan.....	254
58	¿Qué es la vida?: Schrödinger.....	257
59	Creación y cosmología: Hoyle.....	260
60-61	La doble hélice: Watson y Crick.....	263
62-63	Sobre herencias y razas (II): Gould y Cavalli-Sforza ..	273
64	Los pesticidas, elixires de la muerte: Rachel Carson ..	280
65	Los primeros instantes del Universo: Weinberg ..	283
66	La magia de un nombre: Wheeler y los agujeros negros ..	288
67	¿Controles en la investigación científica? Moléculas de ADN recombinante.....	291
68-69	La intuición del caos y el efecto mariposa: Poincaré y Lorenz.....	297
70-71	La quinta gran extinción: Luis y Walter Alvarez ..	304
72	¿Estamos solos en el Universo?: Cari Sagan.....	312
	Referencias bibliográficas.....	319
	Referencias fotográficas.....	329

Introducción



Eran las cuatro de la tarde del 29 de enero de 1697. Isaac Newton —ya sir Isaac— acababa de regresar a su casa desde la Torre de Londres, la sede del *Mint*, la Casa de la Moneda inglesa, de la que era *warden* (el segundo de la institución, tras el *master*) desde hacía pocos meses. Se encontraba extremadamente cansado, no era todavía un hombre mayor (tenía 53 años), pero sus mejores momentos, físicos e intelectuales, ya habían pasado; además, el *Mint* se encontraba en medio de una reacuñación. Una carta le aguardaba. Su remitente era Johann Bernoulli, miembro de una célebre familia de matemáticos suizos, con el que Newton tenía algunas cuentas pendientes, especialmente en lo que se refería a su controversia con Leibniz sobre la prioridad en la invención del cálculo infinitesimal (Johann defendía la prioridad de Leibniz). En el número de junio de 1696 de la famosa revista *Acta Eruditorum*, Bernoulli había desafiado a «los mejores matemáticos que ahora viven en el mundo»,

a resolver el «problema de cuál sería el camino por el que un cuerpo pesado descendería más rápidamente desde un punto a otro que no estuviera directamente debajo». Fijó un plazo de seis meses para la resolución del problema. Cuando pasaron éstos, sólo había recibido una respuesta: la de Leibniz. Pero éste no incluía la solución, sólo la afirmación de que había resuelto el problema, junto con el ruego de que ampliase el plazo hasta Pascua y que volviese a anunciar el problema por toda Europa. ¿Quería, tal vez, disfrutar más humillando a sus colegas, incapaces de resolver la cuestión? Bernoulli aceptó, añadió un segundo problema, y envió copias de ambos a dos grandes revistas científicas: las *Philosophical Transactions*, de la Royal Society inglesa, y el *Nouvel Journal des Sçavans*. Y también a dos grandes científicos británicos: Isaac Newton y John Wallis. ¿Buscaban ambos, Leibniz y Bernoulli, y ahora de manera totalmente directa, la suprema humillación del autor de los *Principia*?

Esta fue la carta que Newton encontró el 29 de enero de 1697. Catherine Barton, sobrina del gran físico y matemático, que vivía con éste, dejó escrito que su tío «no durmió hasta que hubo resuelto el problema, lo que sucedió hacia las cuatro de la madrugada». Por la mañana, Newton fechó una carta a Charles Montague, presidente de la Royal Society, en la que consignaba las respuestas a ambos problemas. Indiferente a los planes y deseos de Bernoulli, dispuso que su respuesta apareciese de manera anónima en el número de febrero de las *Philosophical Transactions*. No obstante, el suizo (que también recibió una respuesta del matemático francés marqués de L'Hôpital) no tuvo dificultad en reconocer a su autor: «Como se reconoce al león por sus garras» («*tanquam ex ungue leonem*»), dicen que fueron sus palabras.

«*Como al león por sus garras*». He elegido como título de este libro —una antología de textos científicos— la esencia de esa frase de Bernoulli, ya que deseo contribuir a que se reconozca a la ciencia, a sus profesionales más eminentes, a través de sus «garras», esto es, de sus propias palabras. Con acaso mayor frecuencia de la debida, hemos tomado el contenido de la ciencia, sus palabras, y las hemos manipulado, utilizando las nuestras —divulgar, explicar, popularizar se llama a esto— para transmitirla al «gran público», a los «legos». No seré yo quien niegue la utilidad de semejante recurso, pero ¿por qué no dar la palabra también a los auténticos protagonistas de esa empresa colectiva llamada ciencia? Más que dársela, ¿por qué no recuperarla? ¿por qué no esforzarnos en que sean ellos mismos quienes nos guíen a través de algunos de los momentos cumbre de la historia de la ciencia? De hecho, tampoco es necesario que nos conduzcan únicamente por los «momentos cumbre»: exis-

ten ocasiones, que seguramente no podemos considerar memorables, pero cuya relevancia bien merece que nos detengamos en ellas.

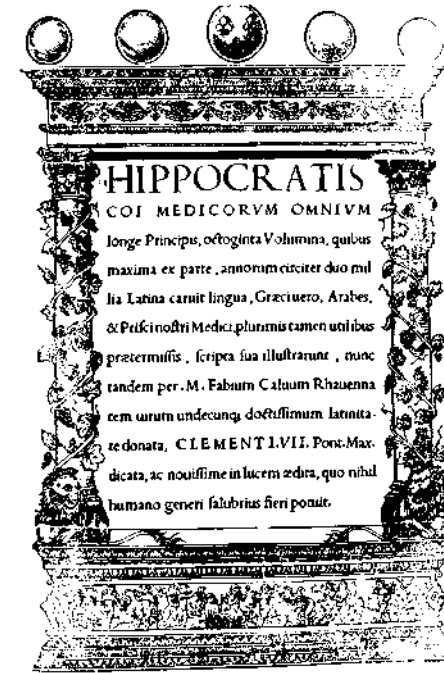
Normalmente somos capaces de reconocer a muchos —a los grandes, ciertamente— poetas, novelistas o dramaturgos leyendo pasajes de sus obras. Y otro tanto sucede con grandes pintores, músicos o arquitectos. Tienen estilos propios. También ocurre esto a veces con los científicos, especialmente con, de nuevo, los verdaderamente grandes. Sin duda, no sucede tan a menudo como en esas «artes», que tanto dependen de la expresión, pero sucede («como se reconoce», recordemos una vez más, «al león por sus garras»). A propósito de Maxwell, Boltzmann se refirió a este hecho en un hermoso texto que reproduzco más adelante: «Un matemático», escribió, «reconocerá a Cauchy, Gauss, Jacobi, Helmholtz después de leer unas pocas páginas, al igual que los músicos reconocen, a partir de las primeras líneas del pentagrama, a Mozart, Beethoven o Schubert».

Tales son mis pretensiones. Estamos familiarizados, y nadie negará su sentido y utilidad, con antologías literarias, pero son mucho —muchísimo— menos frecuentes las de textos científicos. Y sin embargo, la ciencia está —cada vez más y más firmemente— instalada en nuestras vidas, en nuestra cotidianidad. Es, por consiguiente, una tarea imperiosa familiarizarse con su lenguaje, método, contenidos y personajes. Esto es lo que pretendo con esta antología. Para ello he procurado seleccionar pasajes que posean algún tipo de relevancia y que sean lo más transparentes posible para el mayor número de lectores, incluyendo, naturalmente, los legos en materias científicas. Quiero advertir, no obstante, que en ocasiones es preciso esforzarse para comprender no sólo el contenido sino también la relevancia, la importancia de los textos incluidos. Es necesario, en definitiva, ejercitar esa facultad que adorna a nuestra especie: la capacidad de discernimiento y abstracción. No es mi antología una de anécdotas de la ciencia. Las anécdotas, tal y como yo entiendo este término, aparte de ser con frecuencia falsas, no suelen revelar qué es realmente la ciencia. Pueden entretenernos, cierto es, y en ese sentido cumplen alguna función, pero en realidad prostituyen la esencia de lo que es la investigación y representación analítica de la naturaleza. Más aún, inducen a muchos a creer, erróneamente, que se desarrollan sus conocimientos científicos, o que comprenden qué es esa empresa milenaria a la que tanto debemos, llamada ciencia. Verdad es, por supuesto, que no es posible comprender bien qué es la ciencia sin pararse también en aspectos que se refieren a la propia vida y sentimientos de los científicos. Y ya he dicho que también he pretendido recoger esa dimensión en la presente antología, aunque, repito, intentando evitar lo meramente anecdótico.

Pero este libro es algo más que una simple antología, que una reco-

pilación de textos de científicos, es una antología *personal*. Y por ello, acompañan a los textos seleccionados comentarios míos, en los que razono su inclusión. Si no he querido quitar la palabra a los científicos, tampoco me agradaba la idea de prescindir de la mía. Ni que decir tiene que no reclamo para tales comentarios y explicaciones más justificación que la de mi propia opinión y conocimientos; que, en suma, mi particular visión de momentos importantes, algunos ciertamente cumbres, de la historia de la ciencia. Asimismo, sé muy bien que esta selección mía no es en modo alguno completa (en ningún caso se debe considerar como una historia de la ciencia): si acaso, cabe decir de ella que son todos los que están (o casi todos, puesto que en unas pocas ocasiones la presencia de ciertos autores se justifica por su escrito y no por la distinción que ellos mismos alcanzaron), pero que no están todos los que son. Aquel que busque algún personaje y momento que él considere particularmente notable, y no los encuentre aquí (no tendrá que esforzarse mucho para tales hallazgos) que lo interprete como desee: como hecho inevitable, como muestra de mi capricho, limitaciones o ignorancia. Pero que sepa que yo, desde luego, no me llamo a engaño, ni tengo la intención de engañar a nadie. A lo sumo, o como mínimo —vaya usted a saber—, esta antología plasma en textos una buena parte de mi propia visión de lo que es y ha sido la ciencia.

1. La responsabilidad del médico: Hipócrates



Para ser sincero, hubiera preferido comenzar esta antología por un texto diferente, por uno que tratara de un tema matemático o astronómico, donde la «pureza», o, mejor, el «desinterés», del deseo humano de comprender su entorno, la naturaleza, apareciese con mayor —aunque fuese aparente— transparencia, espontaneidad y fuerza, que a propósito de la medicina, un conjunto de saberes más, inevitable y razonablemente, «interesado» (lo que no quiere decir, en modo alguno, que no pretenda conocer, científicamente, nuestro entorno, la naturaleza, de la que el cuerpo humano, por supuesto, forma también parte). Pero la cronología manda, y no he sido capaz de encontrar un texto de esa clase que me satisficiera y que fuese anterior al que incluyo a continuación. Ello no significa que con anterioridad a los siglos IV o V antes de Jesucristo no se hubiese producido ciencia matemática o astronómica, sino que la manera en que éstas se verbalizaron fue demasiado primitiva como para incluirla en un libro como el presente.

Y, en cualquier caso, tampoco está mal comenzar con un texto cuyo recuerdo todavía perdura en la memoria cultural de nuestro tiempo, aunque pocos hayan tenido la oportunidad de leerlo: el juramento hipocrático.

El nombre de Hipócrates es uno de los más conocidos de la Antigüedad. Ha superado la prueba de un largo y azaroso viaje a través de más de dos milenios. Fue, por supuesto, un médico, autor —aunque no estemos seguro de qué trabajos— de obras que ampliaron, aun dentro de sus limitaciones, el conocimiento de las afecciones y características del cuerpo humano. Pero la medicina no ha sido nunca, ni entonces ni ahora, un saber exclusivamente científico, aunque, ciencia, desde luego, es (más aún, en muchos momentos de la historia ha sido uno de los motores más poderosos para el desarrollo de otras disciplinas científicas). Es una práctica en la que desempeña un papel extremadamente importante algo tan complejo como la relación médico-enfermo (incluso en la actualidad, cuando parece que las máquinas relegan al médico a un papel secundario). Por eso, a veces se dice que la medicina es un «arte».

En consecuencia, el médico no sólo debe saber, sino que tiene también una responsabilidad, unos deberes, morales y profesionales. La medicina, más que otras ciencias, sin duda antes que ellas, debe incluir en su seno una deontología. Y es en este punto en el que el nombre de Hipócrates brilla con luz especialmente intensa, en el que se ha asentado en la memoria histórica colectiva, en nuestra cultura más ancestral. El «Juramento hipocrático», cuyo texto reproduzo a continuación, constituye un permanente recordatorio de que la ciencia no está, no puede estar, al margen de las consideraciones ético-morales. Otra cosa es, evidentemente, que hoy aceptemos los valores incluidos en él.

Juramento hipocrático

«Juro por Apolo médico, por Asclepio, Hígiea y Panacea, así como por todos los dioses y diosas, poniéndolos por testigos, dar cumplimiento en la medida de mis fuerzas y de acuerdo con mi criterio a este juramento y compromiso:

Tener al que me enseñó este arte en igual estima que a mis progenitores, compartir con él mi hacienda y tomar a mi cargo sus necesidades si le hiciera falta; considerar a sus hijos como hermanos míos y enseñarles este arte, si es que tuvieran necesidad de aprenderlo, de forma gratuita y sin contrato; hacerme cargo de la preceptiva, la instrucción

oral y todas las demás enseñanzas de mis hijos, de los de mi maestro y de los discípulos que hayan suscrito el compromiso y estén sometidos por juramento a la ley médica, pero a nadie más.

Haré uso del régimen dietético para ayuda del enfermo, según mi capacidad y recto entender: del daño y la injusticia le preservaré.

No daré a nadie, aunque me lo pida, ningún fármaco letal, ni haré semejante sugerencia. Igualmente tampoco proporcionaré a mujer alguna un pesario abortivo. En pureza y santidad mantendré mi vida y mi arte.

No haré uso del bisturí ni aun con los que sufren del mal de piedra: dejaré esa práctica a los que la realizan.

A cualquier casa que entrare acudiré para asistencia del enfermo, fuera de todo agravio intencionado o corrupción, en especial de prácticas sexuales con las personas, ya sean hombres o mujeres, esclavos o libres.

Lo que en el tratamiento, o incluso fuera de él, viere u oyere en relación con la vida de los hombres, aquello que jamás deba trascender, lo callaré teniéndolo por secreto.

En consecuencia, séame dado, si a este juramento fuere fiel y no lo quebrantare, el gozar de mi vida y de mi arte, siempre celebrado entre todos los hombres. Mas si lo trasgredo y cometo perjurio, sea de esto lo contrario.»

HIPÓCRATES DE COS (h. 460-370 a. C.). Poco se sabe de su vida, aunque parece seguro que su padre era médico, y que fue éste quien le inició en la medicina. También sabemos que enseñó en Cos, y que viajó extensamente por Grecia, gozando de una fama excepcional durante su vida, como muestran las referencias que se hacen de él en escritos de autores como Platón o Aristóteles. Contribuyó de manera significativa al conocimiento médico, aunque es difícil determinar cuales de los tratados que aparecen en el *Corpus Hippocraticum*, una de las primeras colecciones de textos científicos del mundo antiguo, fueron realmente obra suya.

2. El círculo, la figura perfecta: Platón



Aunque a veces se le caracteriza como «matemático y filósofo», Platón fue más, creo yo, lo segundo que lo primero. En cualquier caso, en algunos de sus libros nos transmitió aspectos básicos del pensamiento científico heleno: como, por ejemplo, la importancia que tuvo para muchos de los científicos/filósofos de su época la geometría —para ellos perfecta— del círculo. Esa importancia se plasmó especialmente en la descripción de los movimientos de los cuerpos celestes, en la que los círculos, las circunferencias, reinaron supremas (pronto, es cierto, en una enmarañada mezcla de epiciclos, deferentes y excéntricas) hasta la llegada de la elipse con Kepler.

En los siguientes pasajes de una de sus obras, *Timeo*, encontramos algunos de los argumentos utilizados en la defensa del círculo, junto a otros que se refieren a la propia naturaleza del Universo.

Timeo

«[El] constructor [del mundo] lo ha compuesto... de todo el fuego, de todo el aire, de toda el agua y de toda la tierra, y no ha dejado fuera del mundo ninguna parte de ningún elemento, como tampoco ninguna cualidad. Y lo ha combinado así, primero para que fuera único, sin que fuera de él quedara nada de lo que pudiera nacer otro viviente de la misma clase; y, finalmente, para que se viera libre de vejez y enfermedades. Pues él sabía bien que, en un cuerpo compuesto, las sustancias calientes y frías y, de una manera general, todas aquellas que poseen propiedades energetizantes, cuando rodean a este compuesto desde fuera y se aplican a él sin un propósito determinado, lo disuelven, hacen entrar en él las enfermedades y la vejez y de esta manera lo hacen perecer...

En cuanto a su figura, le ha dado la que mejor le conviene y la que tiene afinidad con él. En efecto, al Viviente que debe envolver en sí mismo a todos los vivientes, la figura que le conviene es la figura que contiene en sí a todas las figuras posibles. Esta es la razón por la que Dios ha constituido el mundo en forma esférica y circular, siendo las distancias por todas partes iguales, desde el centro hasta los extremos. Esa es la más perfecta de todas las figuras y la más completamente semejante a sí misma. Pues Dios pensó que lo semejante es mil veces más bello que lo desemejante.

En cuanto a la totalidad de su superficie exterior, la ha pulido y redondeado exactamente, y esto es por varias razones. En primer lugar, en efecto, el Mundo no tenía ninguna necesidad de ojos, ya que no quedaba nada visible fuera de él, ni de orejas, ya que tampoco quedaba nada audible. No le rodeaba ninguna atmósfera que hubiera exigido una respiración. Tampoco tenía necesidad de ningún órgano, bien fuera para absorber el alimento, bien para expeler lo que anteriormente hubiera asimilado. Pues nada podía salir de él por ninguna parte, y nada tampoco podía entrar en él, ya que fuera de él no había nada. En efecto, es el Mundo mismo el que se da su propio alimento por su propia destrucción. Todas sus pasiones y todas sus operaciones se producen en él, por sí mismo, de acuerdo con la intención de su autor. Pues el que lo construyó pensó que sería mejor si se bastaba a sí mismo, en lugar de tener necesidad de alguna otra cosa. No tenían para él ninguna utilidad las manos, hechas para coger o apartar algo, y el artista pensó que no había necesidad de dotarle de estos miembros superfluos, ni le eran tampoco útiles los pies, ni, en general, ningún órgano adaptado a la marcha.

Le dio, en efecto, el movimiento corporal que le convenía, aquel de

los siete movimientos que está relacionado principalmente con el entendimiento y la reflexión. Por esta razón, imprimiendo sobre él una revolución uniforme en el mismo lugar, hizo que se moviera con una rotación circular; y lo privó de los otros seis movimientos y le impidió que anduviera errante por ellos.»

3. Diálogos a través del tiempo: Heisenberg y Platón



PLATÓN (h. 427-347 a.C). Nacido en el seno de una familia patricia de Atenas, su destino aparente era el de político, pero bajo la influencia de Sócrates, de quién fue discípulo, llegó a considerar a los políticos con mucho escepticismo, convirtiéndose en filósofo y maestro. Después de viajar durante algún tiempo, ciertamente por Sicilia, tal vez por Egipto, regresó —en el 388 a.C— a Atenas, donde estableció su famosa Academia. Las obras suyas que han sobrevivido, como el *Timeo*, la *República* o las *Leyes*, adoptan la forma de diálogos, apareciendo en todas ellas la figura, idealizada, de Sócrates.

Por mucho que a veces filósofos o sociólogos de la ciencia puedan empeñarse en negarlo (el caso, por ejemplo, de Thomas Kuhn y sus inconmensurabilidades), el desarrollo de la ciencia tiene un componente de empresa colectiva intemporal y universal. Una empresa en la que, además de producirse una acumulación de resultados (observaciones, conceptos o teorías), pensamientos o intuiciones propios del pasado influyen en el presente. Se producen, en definitiva, algo así como «diálogos a través del tiempo».

Uno de estos diálogos es el que «tuvo lugar» entre Platón y Werner Heisenberg, a quien se debe, entre otras contribuciones, la primera teoría cuántica satisfactoria, y del que me volveré a ocupar más adelante. El diálogo en cuestión consistió en la influencia que ejercieron en Heisenberg unos pasajes del *Timeo* dedicados al problema de la constitución de la materia.

En el mundo griego tuvo especial predicamento la idea de que la naturaleza está formada por cuatro elementos mutables, aire, agua, tierra y fuego, y uno inmutable, el éter, que reina en las esferas extraterrestres. Instalada en el denominado sistema aristotélico-tolemaico (en el que se mantenía que la Tierra ocupaba el centro del Universo), esta imagen del cosmos tardaría mucho en desaparecer: hasta las observaciones y argumentaciones a principios del siglo XVII de Galileo Galilei. Pero su recuerdo ha sobrevivido el paso del tiempo, gracias a la lectura de los clásicos del pensamiento griego. Clásicos como Platón y su *Timeo*, en los que el espíritu —de ahora, de antes y, esperemos, de cualquier tiempo por venir— encuentra placer ante el espectáculo de magníficos ejercicios de lógica e imaginación. A muchos les puede parecer que los razonamientos que sobre la constitución de la materia hizo Platón en el *Timeo* constituyen desarrollos vacíos y artificiales, en los que no aparece por ningún lado la exploración de lo que realmente sucede en la naturaleza. Pero quien piensa de forma semejante, comete el frecuente error de juzgar el pasado por el presente. La teoría de los cuatro elementos no era sino una interpretación de lo que se podía observar directamente en esa naturaleza, y si la ciencia es describir observaciones mediante interpretaciones que se codifican en entes matemáticos, las argumentaciones que Platón desarrollaba en el *Timeo* no se encontraban tan alejadas de la ciencia.

Es, asimismo, digno de señalar la componente «pitagórica» que poseen los fragmentos del *Timeo* que reproduzco a continuación (también, aunque de una manera algo menos evidente, los citados con anterioridad). La geometría, con la irrefutable lógica de sus axiomas, atrajo particularmente a Platón. Por ello se ha dicho que Pitágoras (h. 580-500 a.C.) influyó profundamente en él.

Veamos, en cualquier caso, qué es lo que manifestó Heisenberg en sus memorias, y luego comparémoslo —con la emoción que produce el descubrir una profunda relación establecida entre mentes que vivieron separadas por milenios— con lo que Platón escribió y Heisenberg leyó en la primavera de 1919, cuando era un joven estudiante preuniversitario en Munich.

Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik (1969) (*Diálogos sobre la física atómica*)
W. Heisenberg

«A fin de volver a disponerme paulatinamente para la vida escolar, solía retirarme al tejado del seminario con nuestra edición escolar de los diálogos de Platón. Allí, apoyado en el alero del techo y calentado por los primeros rayos del sol, podía estudiar tranquilamente y de cuando en cuando observar el despertar de la vida en la Ludwigstrasse. En una mañana de éstas, cuando el sol empezó a levantarse y la luz iluminaba el edificio de la universidad y la fuente que lo precede, di con el diálogo *Timeo*, y precisamente con aquel pasaje donde se habla de las partes mínimas de la materia. Quizás este pasaje me haya cautivado tan sólo porque era difícil de traducir, o también porque se trataba de cosas matemáticas, que siempre me habían interesado. No me acuerdo por qué concentré mi atención con tanto empeño precisamente en este texto. Pero lo que leía allí me parecía totalmente absurdo. Platón afirma que las partes mínimas de la materia están formadas por triángulos rectángulos que, después de haberse agrupado a pares en triángulos equiláteros o cuadrados, constituyen los cuerpos regulares de la estereometría: cubos, tetraedros, octaedros e icosaedros. Según Platón, estos cuatro cuerpos son las unidades fundamentales de los cuatro elementos: tierra, fuego, aire y agua. No lograba ver claramente si los cuerpos regulares eran asignados a los elementos sólo como símbolos —por ejemplo, el cubo al elemento tierra para representar la solidez y estabilidad de este elemento—, o si realmente las partes más pequeñas del elemento tierra tenían forma de cubo. Tales ideas me parecían especulaciones fantásticas; en el mejor de los casos, sólo disculpables por la falta de suficientes conocimientos empíricos en la antigua Grecia. Pero en el fondo me intranquilizó bastante que un filósofo como Platón pudiera caer en tales especulaciones. Intentaba encontrar algunos principios a partir de los cuales pudiera entender mejor las especulaciones de Platón. Pero no conseguía descubrir nada que, aunque de lejos, me hubiera indicado el camino para ello. Sin embargo, la idea de que en las partes mínimas de la materia se tropieza al final con formas matemáticas me fascinaba. Una comprensión de la textura casi inextricable e indescifrable de los fenómenos naturales sólo parecía posible si se pudieran descubrir en aquélla formas matemáticas. Pero me resultaba totalmente ininteligible por qué razón se había fijado la atención de Platón de modo especial en los cuerpos regulares de la estereometría. Éstos no parecían tener valor explicativo alguno. Por eso, en adelante sólo utilicé el *Timeo* para perfeccionar mis conocimientos de griego. Pero la preocupación persistió. El resultado más importante de la lectura fue, tal vez, la convicción de que, si quería entender el mundo material, era necesario saber

algo acerca de sus partes más elementales. Por los libros de texto y por escritos de vulgarización sabía que la ciencia moderna investigaba el átomo. Quizás más tarde pudiera penetrar yo mismo en este mundo con mis estudios. Pero eso quedaba para más adelante.»

Timeo, Platón

«Y ahora habré de esforzarme por manifestaros, por medio de un razonamiento bastante insólito, la manera en que fue dispuesto y en que fue generado cada uno de los elementos... Hace falta explicar qué propiedades deberían tener los cuerpos más bellos y en número de cuatro [fuego, tierra, agua y aire] para ser por una parte distintos los unos de los otros y, por otra parte, capaces de nacer unos de los otros al deshacerse. Si conseguimos esto, tendremos la verdad sobre el origen de la tierra, del fuego, y de los cuerpos intermedios entre esos dos, según relaciones regulares... De los dos triángulos, el que es isósceles no tiene más que una especie; el que es escaleno tiene un número indefinido de ellas. Nos es, pues, necesario dar la preferencia, entre los que tienen un número indefinido de especies, al que sea más bello, si empero queremos comenzar según el orden pretendido... Brevemente, admitimos que de entre todos los triángulos escalenos, muy numerosos, hay uno que es el más bello, y dejaremos de lado los demás. Este triángulo será aquel que, utilizado dos veces, nos permita formar el tercer triángulo, que es el equilátero. Por qué razón ello es así, sería muy largo de demostrar. Pero no voy a discutir la recompensa a quien pueda descubrirlo y demostrarlo así. Escojamos, pues, dos triángulos de los que están constituidos los cuerpos del fuego y de todos los demás elementos: uno es isósceles; el otro tiene siempre el cuadrado de su lado mayor igual a tres veces el cuadrado del menor. Y ahora precisemos más lo que más arriba se ha dicho en una forma aún un tanto burda. Nos pareció que los cuatro elementos nacían siempre recíprocamente los unos de los otros, pero aquello era una falsa apariencia. En efecto, los cuatro géneros nacen de los triángulos de que acabamos de hablar. Pero, tres de ellos proceden de un mismo tipo de triángulo, el que tiene sus lados desiguales, y sólo el cuarto recibe su armonía del triángulo isósceles. En consecuencia, no es posible que todos se resuelvan los unos en los otros, de tal manera que un número reducido de cuerpos voluminosos proceda de un gran número de cuerpos pequeños, y lo contrario. Sólo pueden hacerlo los tres primeros. En efecto, si todos los cuerpos provinieran de un triángulo único y tan sólo en este caso, se podría formar, al momento de la disgregación de los mayores y a expensas de ellos, una multitud de corpúsculos pequeños, de los que cada uno recibiría la fi-

gura que le fuera adecuada. E inversamente, cuando un gran número de cuerpos pequeños se disociara en triángulos, podrían nacer de ellos un solo número correspondiente a un volumen único, el cual daría, por síntesis, una forma única de grandes dimensiones.

Pero baste ya con esto acerca de su mutua generación. A continuación será necesario explicar cuál es la forma propia de cada uno de ellos, cómo se produce y de qué combinación de números procede. Comenzaremos por la primera especie, aquella cuyos componentes son más pequeños. El elemento matemático de esta especie es aquel cuya hipotenusa tiene una longitud doble de la del lado más pequeño del ángulo recto. Dos de esos triángulos se pegan según la diagonal del cuadrilátero, y esta operación se renueva y repite tres veces, de manera que todas las diagonales y todos los lados pequeños de los ángulos rectos vienen a coincidir en un mismo punto que es como un centro. Nace así un triángulo equilátero único, compuesto de pequeños triángulos en número de seis. Cuatro de esos triángulos equiláteros, unidos según tres ángulos planos, dan lugar a un solo e idéntico ángulo sólido, que tiene un valor inmediatamente inferior al del ángulo plano más obtuso. Y, una vez formados cuatro ángulos de este tipo, nace la primera especie de sólido, que tiene la propiedad de dividir en partes iguales y semejantes la superficie de la esfera en que está inscrita. La segunda especie se compone de los mismos triángulos. Ocho de entre ellos se reúnen para formar triángulos equiláteros, y éstos a su vez forman un ángulo sólido único, hecho de cuatro ángulos planos. Cuando se construyen seis ángulos sólidos de esta clase, resulta acabado el cuerpo de la segunda especie. La tercera especie se forma por la unión de ciento veinte triángulos elementales, es decir, de doce ángulos sólidos, de los cuales cada uno está comprendido dentro de cinco triángulos planos equiláteros, y tiene veinte bases que son veinte triángulos equiláteros. Cuando hubo generado estos tres sólidos, el primer tipo de triángulo acabó su función. Por su parte, el triángulo isósceles engendró la naturaleza del cuarto cuerpo elemental. Al pegarse seis de estas figuras, dan lugar a ocho ángulos sólidos, de los que cada uno está constituido por la unión armónica de tres ángulos planos. Y la figura así obtenida es la figura cúbica, que tiene como bases seis superficies cuadrangulares, de lados iguales. Quedaba aún una sola y única combinación: el Dios se sirvió de ella para el Todo, cuando esbozó su disposición final.

... Dividamos las especies que acaban de nacer en virtud de nuestro razonamiento en fuego, tierra, agua y aire. A la tierra le atribuimos ciertamente la figura cúbica. Porque la tierra es el más difícil de mover de todos los cuerpos y es de todos ellos el más tenaz. Y es muy necesario que lo que posee tales propiedades haya recibido, al nacer, las bases más sólidas. Ahora bien, entre los triángulos que hemos supuesto al comienzo, la base formada por los lados iguales es naturalmente más estable que la que está formada por lados desiguales. Y la superficie equi-

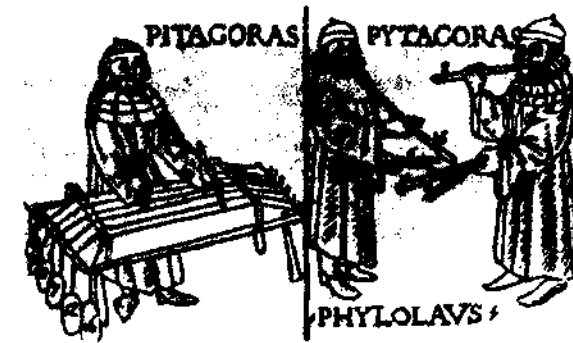
latera cuadrangular compuesta de dos equiláteros es necesariamente más estable, sea en sus partes, sea en su totalidad, que una superficie triangular. Por tanto, al atribuir esta superficie a la tierra, nos conformamos con lo verosímil. Y eso hacemos, al atribuir al agua la figura móvil de las que quedan, al fuego la más móvil, y al aire la figura intermedia. Y asimismo el cuerpo más pequeño al fuego, el mayor al agua, y el intermedio al aire. El más agudo al fuego, el que le sigue en esta cualidad al aire, y el tercero al agua. Así, entre todas estas figuras, la que tiene las bases más pequeñas debe tener necesariamente la naturaleza de lo más móvil, es siempre la más cortante, la más aguda de todas y, además, la más ligera, puesto que se compone del más pequeño número de las mismas partículas. Y la segunda debe ocupar el segundo lugar, y la tercera el tercer lugar. Consiguientemente, según la recta lógica y según la verosimilitud a un tiempo, la figura sólida de la pirámide es el elemento y el germen del fuego; la segunda en orden de nacimiento, es el elemento del aire, y la tercera el del agua.

Ahora bien, conviene concebir todas esas figuras tan pequeñas que, dentro de cada género, ninguna pueda nunca ser percibida por nosotros individualmente a causa de su pequenez. Por el contrario, una vez ellas se agrupan, las masas que ellas forman son visibles. Y, por lo que respecta a las relaciones numéricas que se hallan en su número, en sus movimientos y en sus demás propiedades, hay que considerar siempre que el Dios, en la medida en que el ser de la necesidad se dejó persuadir espontáneamente, las ha realizado en todo de manera exacta, y así ha armonizado matemáticamente los elementos.

Según todo lo que llevamos dicho acerca de los géneros, veamos lo que verosímilmente tiene lugar. Cuando la tierra se encuentra con el fuego y es dividida por lo que hay en él de cortante, desaparece, bien sea por disolverse en el mismo fuego, bien sea por encontrar un masa de aire o de agua. Esto ocurre así hasta que sus partículas se vuelven a encontrar y se unen de nuevo entre sí. Y es entonces tierra que renace. Porque la tierra nunca podría convertirse en otro elemento.

Por el contrario, el agua dividida por el fuego o por el aire puede, al recomponerse, dar lugar o bien a un corpúsculo de fuego, o bien a dos corpúsculos de aire. En cuanto a los elementos de aire, en caso de perder su unidad y deshacerse, darán lugar a dos corpúsculos de fuego. Por el contrario, cuando una pequeña cantidad de fuego se encuentra rodeada de una masa de aire, de agua o de una parte de tierra, este fuego es arrastrado por el movimiento del elemento que lo envuelve, es dominado y roto a pedazos. Y en este caso, dos corpúsculos de fuego se condensan en un elemento de aire. Si el aire a su vez es dominado y roto a pedazos, de dos elementos enteros de aire más un medio elemento, se forma, por aglomeración, un corpúsculo completo de agua.»

4. La precisión del razonamiento matemático: Euclides



No hay, en mi opinión, momento superior en la historia del pensamiento griego que el de la composición de los famosos *Elementos* de Euclides, la obra matemática por excelencia, en la que con la precisión, la elegancia y el saber del cirujano mejor dotado, se compone un acabado edificio de proposiciones matemáticas a partir de un grupo previamente establecido de definiciones y axiomas, que se combinan siguiendo las reglas de la lógica. Si hay momentos cumbres de la Antigüedad, éste fue, ya digo, uno de ellos.

El contenido de los diferentes libros que constituyen los *Elementos* no ha perdido, más de dos milenios después, nada de su precisión, aunque sí sepamos ahora que algunos de sus axiomas no son exclusivos, que es posible construir otros sistemas matemáticos —otras geometrías, por ejemplo— utilizando postulados diferentes (así ocurre con el célebre quinto postulado, la renuncia del cual dio origen, ya en el siglo XIX, a las

denominadas «geometrías no euclidianas»; volveremos a esta cuestión más adelante, cuando llegue el turno de Riemann. Generaciones de estudiantes en escuelas de todo tipo han aprendido, hasta hace relativamente poco, matemáticas en versiones simplificadas de los *Elementos*, una obra en la que no sólo se buscaban conocimientos matemáticos, sino también, acaso sobre todo, un modelo para el pensamiento lógico que fuese válido para todas las facetas de la vida.

Esto es lo que nos dejó Euclides, de cuya vida poco sabemos: que fue más joven que los discípulos de Platón, mayor que Arquímedes y coetáneo del fundador de la dinastía tolemaica.

A continuación, reproduzco el contenido de las páginas iniciales del libro primero de los *Elementos*, donde se encuentra el núcleo básico de la obra, sus auténticos pilares fundacionales, aquello que parece tan evidente que tendemos a pensar que son las verdades, los elementos, irreductibles de la naturaleza, y, en consecuencia, acaso de nuestro esquema mental también. A partir de ellos, ya sólo resta combinarlos y comenzar a elaborar y a enumerar proposición tras proposición.

Elementos. Libro I

«DEFINICIONES

1. Un punto es lo que no tiene partes.
2. Una línea es una longitud de anchura.
3. Los extremos de una línea son puntos.
4. Una línea recta es aquella que yace por igual respecto de los puntos que están en ella.
5. Una superficie es lo que sólo tiene longitud y anchura.
6. Los extremos de una superficie son líneas.
7. Una superficie plana es aquella que yace por igual respecto de las líneas que están en ella.
8. Un ángulo plano es la inclinación mutua de dos líneas que se encuentran una a otra en un plano y no están en línea recta.
9. Cuando las líneas que comprenden el ángulo son rectas, el ángulo se llama rectilíneo.
10. Cuando una recta levantada sobre otra recta forma ángulos adyacentes iguales entre sí, cada uno de los ángulos iguales es recto y la recta levantada se llama perpendicular a aquella sobre la que está.
11. Ángulo obtuso es el (ángulo) mayor que un recto.
12. Ángulo agudo es el (ángulo) menor que un recto.
13. Un límite es aquello que es extremo de algo.

14. Una figura es lo contenido por uno o varios límites.

15. Un círculo es una figura plana comprendida por una línea [que se llama circunferencia] tal que todas las rectas que caen sobre ella desde un punto de los que están dentro de la figura son iguales entre sí.

16. Y el punto se llama centro del círculo.

17. Un diámetro del círculo es una recta cualquiera trazada a través del centro y limitada en ambos sentidos por la circunferencia del círculo, recta que también divide el círculo en dos partes iguales.

18. Un semicírculo es la figura comprendida entre el diámetro y la circunferencia por él cortada. Y el centro del semicírculo es el mismo que el del círculo.

19. Figuras rectilíneas son las comprendidas por rectas, triláteras las comprendidas por tres, cuadriláteras las comprendidas por cuatro, multiláteras las comprendidas por más de cuatro rectas.

20. De entre las figuras triláteras, triángulo equilátero es la que tiene los tres lados iguales, isósceles la que tiene sólo dos lados iguales, y escaleno la que tiene los tres lados desiguales.

21. Además, de entre las figuras triláteras, triángulo rectángulo es la que tiene un ángulo recto, obtusángulo la que tiene un ángulo obtuso, acutángulo la que tiene los tres ángulos agudos.

22. De entre las figuras cuadriláteras, cuadrado es la que es equilátera y rectangular, rectángulo la que es rectangular pero no equilátera, rombo la que es equilátera pero no rectangular, romboide la que tiene los ángulos y lados opuestos iguales entre sí, pero no es equilátera ni rectangular; y llámense trapecios las demás figuras cuadriláteras.

23. Son rectas paralelas las que estando en el mismo plano y siendo prolongadas indefinidamente en ambos sentidos, no se encuentran una a otra en ninguno de ellos.

POSTULADOS

1. Postúlese el trazar una línea recta desde un punto cualquiera hasta un punto cualquiera.
2. Y el prolongar continuamente una recta finita en línea recta.
3. Y el describir un círculo con cualquier centro y distancia.
4. Y el ser todos los ángulos rectos iguales entre sí.
5. Y que si una recta al incidir sobre dos rectas hace los ángulos internos del mismo lado menores que dos rectos, las dos rectas prolongadas indefinidamente encontrarán en el lado por el que están los (ángulos) menores que dos rectos.

NOCIONES COMUNES

1. Las cosas iguales a una misma cosa son también iguales entre sí.
2. Y si se añaden cosas iguales a cosas iguales, los totales son iguales.
3. Y si de cosas iguales se quitan cosas iguales, los restos son iguales.
4. Y las cosas que coinciden entre sí son iguales entre sí.
5. Y el todo es mayor que la parte.»

EUCUDES (h. 300 a.C). Parece ser que enseñó en la entonces recientemente fundada ciudad de Alejandría, donde habría establecido una escuela matemática. Escribió por lo menos una decena de obras, de las que han sobrevivido dos: los *Elementos* (que se componen de 13 libros) y los *Datos*. Algunos creen que murió hacia el 270 a.C.

5. En su reino (científico) no se ponía el Sol: Aristóteles



Tendemos de continuo a rechazar las teorías antiguas por debajo del umbral de nuestra conciencia, pero ellas reviven una y otra vez. Hipócrates, Aristóteles, Alberto Magno, han sido condenados al olvido hace ya siglos; pero hipocráticos, aristotélicos y escolásticos siguen luchando unos con otros (aunque se presenten bajo otros nombres), y probablemente encontrarán partidarios conscientes e inconscientes hasta que llegue el fin de la humanidad.» Fue Enmanuel Rádl quien, en su gran *Historia de las teorías biológicas* (1905-1909), escribió estas frases. Sin duda exageraba (más aún no incluyendo nombres como los de Euclides o Arquímedes), pero por encima de la exactitud literal de sus palabras, éstas albergaban una profunda verdad: la deuda inmortal que el pensamiento, y especialmente el pensamiento filosófico-científico, tienen con la antigüedad clásica, aquella que floreció en las riberas del Mediterráneo en los lejanos siglos que precedieron al punto de partida de la cronología cristiana.

La magnitud de semejante deuda se hace especialmente evidente a través de la obra de Aristóteles, que comprende la mayor parte del conocimiento científico de su época. Se le atribuyen más de 150 tratados (algunos dan una cifra mucho más alta), de los cuales aproximadamente 30 han llegado hasta nosotros.

En la Academia de Platón, más tarde en su propio Liceo, o en sus viajes y estancias lejos de Atenas, Aristóteles se mostró como un extraordinario maestro y creador —seguramente también promotor o aglutinador— de ideas, en campos tan diversos como la física, la astronomía y la cosmología, la lógica y la metodología, la retórica y la poética, la ética, la biología, la zoología, la anatomía y la fisiología. Pero nunca se contentó con exponer *lo que* sucede, sino que buscó también el *porqué* de los procesos que describía. Fue, por consiguiente, mucho más que lo que hoy denominamos un científico; fue un *filósofo de la naturaleza*, muchas de cuyas ideas y sistemas llegarían ser —a partir especialmente del siglo XIII— admirados, casi reverenciados. Hasta que, en la física, Kepler y Galileo socavasen su manera —y la de una buena parte del mundo heleno, como vimos a propósito de Platón— de interpretar el movimiento, en general, y el de los cuerpos celestes en particular.

Pero mucho después de que la mayoría de sus doctrinas más especulativas hubiesen sufrido el amargo embate de la crítica, sus contribuciones a la historia natural (sus minuciosas observaciones, desde el hombre a los insectos y los mínimos organismos dotados de vida animal) continuaban siendo lección obligada. En muchos aspectos, su obra naturalista no fue superada hasta el siglo XVII, con William Harvey, y algunas de sus observaciones fueron confirmadas en pleno siglo XIX, gracias al uso del microscopio y unos medios de experimentación de que él nunca dispuso, por supuesto. No es exagerado decir que con anterioridad a Darwin nadie realizó una contribución mayor a nuestro conocimiento del mundo viviente que Aristóteles, el gran estudioso de los sistemas vivos y de la diversidad orgánica.

Es por este motivo que he elegido unos pasajes de una de sus obras, *Investigación sobre los animales*. Pero no uno de los numerosos, y magníficos, pasajes en los que Aristóteles describe con precisión temas como pueden ser la reproducción del buitre, el apareamiento de los insectos, las costumbres del cuco o las particularidades del útero, sino uno en el que cualquiera puede detectar el error: la «generación espontánea de ciertos peces». Y si he seleccionado este texto es para mostrar que en la ciencia la equivocación puede —y suele— estar presente; que, de hecho, el progreso científico es convivir con el error, para identificarlo y superarlo posteriormente.

«Generación espontánea de ciertos peces.

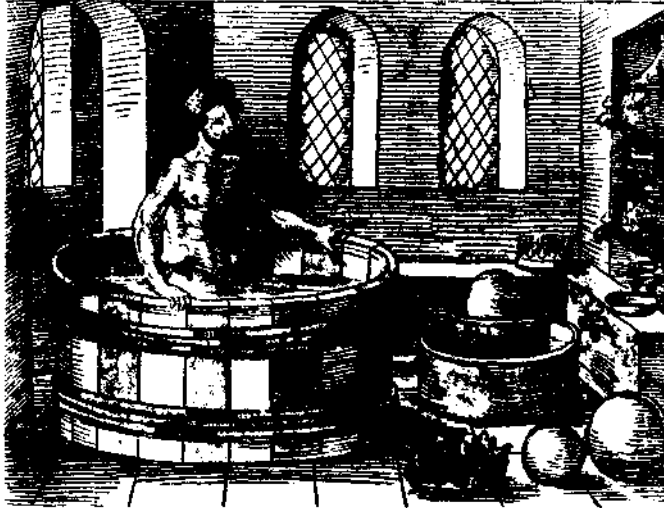
Así pues, como hemos dicho, la inmensa mayoría de peces nacen de huevos. Sin embargo, hay algunos que nacen del limo y de la arena, incluso en aquellas especies que nacen normalmente por acoplamiento y de huevos: es el caso, entre otros, de las que nacen en charcas, pero sobre todo en una que dicen que hay por los alrededores de Cnido; esta charca se desecaba durante el tiempo de la canícula y se extraía por completo el lodo; cuando el agua empezaba a acumularse con la llegada de las lluvias, empezaban a salir pececillos con las primeras aguas. Se trataba de una variedad de mújoles, que no proceden de acoplamiento y cuyo tamaño es el de las pequeñas menas. Ninguno de estos peces tiene huevos ni esperma. Existe igualmente en los ríos de Asia que no desembocan en el mar otra especie de peces minúsculos, del tamaño de las anchoas, que se forman de la misma manera que los precedentes. Hay quienes aseguran que absolutamente todos los mújoles se forman así, pero se equivocan: pues es evidente que la hembra de estos peces tiene huevos y el macho esperma. Pero existe una variedad de mújoles que presenta la particularidad de nacer del lodo y de la arena.

Así pues, estos hechos demuestran que hay peces que nacen por generación espontánea, sin huevos ni apareamiento. En todas las especies que no son ni ovíparas ni vivíparas, los peces proceden siempre ya del lodo, ya de la arena y de las materias en descomposición que se forman en la superficie: así entre la morralla el pez llamado espuma nace de un fondo arenoso. La referida morralla ni crece ni se reproduce, y al cabo de un cierto tiempo perece, pero nacen otras; así, salvo un corto intervalo de tiempo, se forma prácticamente durante todo el resto del año, y que permanece desde la salida de Arturo [mediados de septiembre] en otoño hasta la primavera-

Las demás variedades de morralla son generadoras de peces: la llamada gobita de los gobios pequeños y de mala calidad, que se sumerge bajo tierra; de la morralla del puerto de Faleron [puerto oriental de Atenas] surgen anchoas; de éstas, arenques; de los arenques, sardinas; de una variedad de morralla como la que se encuentra en el puerto de Atenas, *encrasicholos* [acaso boquerones]. Existe todavía otra especie de morralla que proporciona menas y mújoles...»

ARISTÓTELES (384-322 a.C.). Hijo del médico de la Corte de Macedonia, huérfano desde su niñez, se educó en Atenas, en la célebre Academia de Platón, donde permaneció alrededor de veinte años. Cuando Platón murió, Aristóteles abandonó Atenas, ciudad a la que sólo regresaría doce años después, en 335, bajo la dominación macedonia. Tras doce años de enseñar e investigar allí, cuando su célebre pupilo, Alejandro Magno, falleció, fue acusado de falta de piedad, motivo que le llevó a exiliarse voluntariamente. Pocos meses después falleció.

6. ¡ Eureka!: Arquímedes



Continuando con mi propósito de no renunciar a incluir, en ocasiones, algunos textos de marcado carácter técnico, me detengo ahora en uno de Arquímedes. Y no en un texto cualquiera, sino en uno que contiene un resultado que la mayoría de nosotros —prácticamente todos aquellos que han cursado el bachillerato— aprendió en su juventud, casi en su infancia: el «principio de Arquímedes»; aquel que afirma que un cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje igual al peso del volumen del fluido que desaloja. El mismo que solían enseñarnos, diciendo que lo descubrió mientras estaba bañándose, y que, excitado por el hallazgo, gritó: «¡Eureka!», «¡Lo encontré!». Vaya usted a saber si fue verdad, pero, ¡qué importa!

De todas maneras, me apresuro a señalar que no he incluido este texto de Arquímedes únicamente porque pueda despertar las añoranzas juveniles de alguno, o porque se refiera a un resultado que explica multitud

de fenómenos que tienen lugar a nuestro alrededor, como la navegación de barcos y submarinos, o el vuelo de globos de aire caliente. Lo he incluido porque Arquímedes fue una de las cumbres del pensamiento de la Antigüedad, que, además de contribuir al desarrollo de la matemática, logró lo que otros no consiguieron: aplicar la maestría matemática de los griegos a la investigación de fenómenos naturales tan, aparentemente, nimios como el comportamiento de un sólido en un fluido; además, se ocupó de inventar y construir máquinas (como el denominado tornillo de Arquímedes, un tornillo espiral que se hacía girar dentro de un cilindro y que se podía utilizar para sacar —o elevar— agua de los canales). Fue, en este sentido, más allá que Euclides, y, en otros, que Aristóteles, y por ello es considerado por muchos como el matemático y físico más importante del mundo antiguo.

He rescatado, de la vieja y magnífica edición preparada en 1897 por el británico T. L. Heath, de los escritos de Arquímedes que han sobrevivido dos proposiciones del libro primero de *Sobre los cuerpos flotantes*, que contienen formulaciones un tanto diferentes, pero básicamente equivalentes, del principio de Arquímedes; de la primera, no he incluido la demostración, algo más compleja; sí de la segunda.

Sobre los cuerpos flotantes. Libro I

«PROPOSICIÓN 5

Si colocamos en un fluido un sólido más ligero que él, quedará inmerso en la medida en que su peso sea igual al peso del fluido que desaloja.

PROPOSICIÓN 6

Si se sumerge a la fuerza en un fluido un sólido más ligero que él, el sólido se verá empujado hacia arriba con una fuerza igual a la diferencia entre su peso y el peso del fluido que desaloja.

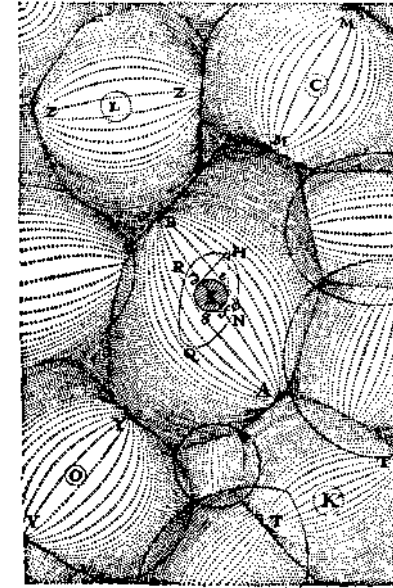
Ya que hagamos que A esté inmerso completamente en el fluido, y hagamos que G represente el peso de A, y (G+H) el peso de un volumen igual al fluido. Tomemos un sólido D, cuyo peso es H y sumémoslo a A. Entonces el peso de (A+D) es menor que el de un volumen igual del fluido; y, si (A+D) está sumergido en el fluido, será proyectado de forma tal que su peso será igual al peso del fluido desalojado. Pero su peso es (G+H).

Por consiguiente, el peso del fluido desplazado es (G+H), y en consecuencia el volumen del fluido desplazado es el volumen del sólido A. Existirá, por tanto, reposo con A sumergido y D empujando.

Por consiguiente, el peso de D equilibra la fuerza hacia arriba ejercida por el fluido en A, y en consecuencia esta última fuerza es igual a H, que es la diferencia entre el peso de A y el peso del fluido que desaloja A.»

ARQUÍMEDES (Siracusa, h. 287- Siracusa, 212 a.C). Hijo de un astrónomo, Fidas, estudió en Alejandría, regresando luego a Siracusa (Sicilia), de cuyo rey, Hierón II, era pariente. Sus habilidades tecnológicas fueron aprovechadas durante el asedio romano a Siracusa (215-212 a.C), en el que, según algunos cronistas, inventó una serie de armas e instrumentos que mantuvieron alejada a la flota romana, al hacer que se incendiasen algunos de sus barcos. Según la leyenda, murió en el saqueo que se produjo, asesinado por un soldado romano, que no fue capaz de hacerle salir de su estudio, inmerso como estaba en sus investigaciones.

7. Átomos y vacío: Lucrecio



Existen cuestiones, tan acuciantes, tan universales, que aunque su ámbito sea estrictamente el de la ciencia, no pueden ser restringidas sólo a semejante dominio, extendiéndose por muchos otros. Este es el caso del problema de la constitución de la materia y del mundo. ¿Cómo están formados los cuerpos que nos rodean y de los que formamos parte? ¿Cómo es posible el movimiento? Pocas cuestiones surgen al espíritu de manera más inmediata, y por ello no es extraño verlas tratadas en lugares y por personas que no podemos considerar científicos, especialmente cuando la ciencia todavía no se había desarrollado demasiado. Este es el caso del poema de un ciudadano romano del que sabemos muy poco, Tito Lucrecio Caro: *De rerum natura* (*De la naturaleza*), una obra que forma parte de nuestra cultura, y que se puede considerar como una exposición bastante completa de la física epicúrea. Pero esto aquí importa bien poco; lo que importa es que en ella Lucrecio abor-

daba, de una forma que más de veinte siglos después aún podemos comprender con transparente claridad, problemas como los de la constitución de la materia, la existencia de los átomos, del vacío y del movimiento. A través de los pasajes que he seleccionado veremos como pensaba que el vacío era una necesidad para el movimiento, negando la posibilidad de una «tercera sustancia», que se interpusiese entre cuerpos, entre átomos. Negaba, en consecuencia, la posibilidad de lo que ahora denominamos «campos», que transmiten la interacción entre los cuerpos; negaba también la idea, que para Descartes fue tan querida, de que el Universo es un *plenum*, que está lleno de sustancias, aunque la naturaleza de ellas sea muy diferente.

Pero las respuestas no son nunca tan interesantes, ni tan definitivas, como las buenas preguntas, y Lucrecio, al igual que sus predecesores, que hicieron posible que escribiera su poema, plantearon unas preguntas que no nos han abandonado desde entonces, y a las que a lo largo de la historia hemos dado respuestas diferentes. Volveremos a encontrarnos pronto con uno de los problemas que abordó, el de la interacción, el de si el vacío es un buen soporte para los fenómenos físicos, cuando lleguemos a Isaac Newton.

De rerum natura (De la naturaleza). Libro I

«EL VACIO

... No todo está en todas partes ocupado por materia compacta; pues dentro de las cosas existe el vacío. Es éste un conocimiento que te será útil en muchos aspectos y no dejará que te pierdas en dudas, cavilando siempre sobre el universo y recelando de mis palabras. Así pues, existe un espacio impalpable, vacío. Que si no existiera, de ningún modo podrían moverse las cosas; pues la función propia de la materia, esto es, chocar y ofrecer resistencia, actuaría a cada momento en todo objeto; ninguno podría, por tanto, avanzar pues ninguno empezaría a ceder ante otro. Pero en realidad vemos, por mar y tierra y por las alturas del cielo, mil cuerpos moviéndose ante nuestros ojos, de muchas maneras y en diversos sentidos; los cuales, si no existiera el vacío, no sólo estarían privados de esta moción incesante, sino que jamás hubieran podido ser engendrados, pues la materia, apiñada en todos los puntos, estaría inmóvil.

Además, por compactas que parezcan las cosas, de lo que voy a decirte podrás deducir que son de cuerpo poroso. En las cuevas, a través de las rocas se filtra la fluida humedad del agua, y todas destilan grue-

sas gotas. El alimento se esparce por el cuerpo entero de los seres vivos, los árboles crecen y dan a su tiempo los frutos, porque la savia nutriz, subiendo desde las profundas raíces, se difunde por todos los troncos y ramas. La voz atraviesa los muros y vuela a través de tabiques, el frío entumecedor penetra en los huesos. Lo cual, de no haber huecos por donde pasaran los cuerpos no verías suceder en modo alguno.

En fin, ¿cómo es que unas cosas aventajan a otras en peso, sin que sea mayor su tamaño? Pues si la misma materia hay en un ovillo de lana que en un igual volumen de plomo, justo es que pesen lo mismo; porque es propiedad de los cuerpos hacer presión siempre hacia abajo y, al contrario, lo que es vacío permanece sin peso. Por consiguiente, si un cuerpo es del mismo tamaño que otro pero de peso más leve, indica con esto que encierra una parte mayor de vacío; y el más pesado declara, a la inversa, que hay en él más materia y que es mucho menor el vacío que tiene.

Existe, pues, algo mezclado en las cosas, que nuestra sagaz razón investiga: lo llamamos "vacío".

SÓLO HAY DOS SUSTANCIAS: ÁTOMOS Y VACÍO

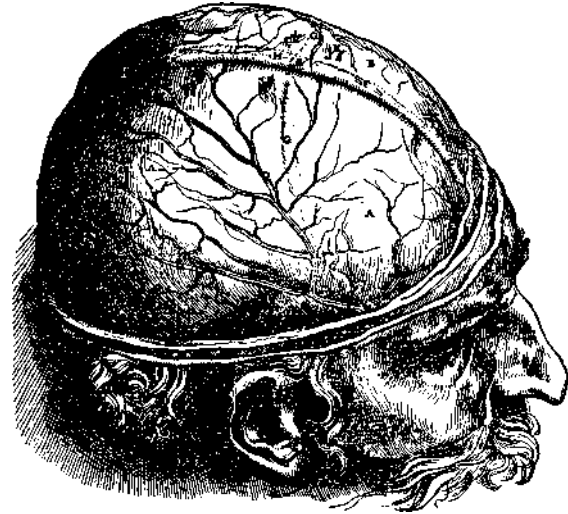
Siguiendo adelante con la trama de mi discurso, la Naturaleza entera, en cuanto existe por sí misma, consiste de dos sustancias: los cuerpos y el vacío en que éstos están situados y se mueven de un lado a otro. Que el cuerpo existe de por sí, lo declara el testimonio de los sentidos, a todos común; si la fe basada en ellos no vale como primer criterio inatacable, en los puntos oscuros nos faltará un principio al que pueda apelar la razón para alcanzar la certeza. Por otra parte, si no existiera el lugar y el espacio que llamamos vacío, los cuerpos no podrían asentarse en ningún sitio, ni moverse en direcciones distintas; es lo que poco antes te he demostrado.

NO EXISTE UNA TERCERA SUSTANCIA

Aparte de estas dos, no hay otra sustancia a la que puedas llamar totalmente inmaterial y a la par distinta del vacío, que sea como el tercer modo de existir. Pues todo cuanto existe debe ser algo real por sí mismo, de tamaño mayor o menor, con tal que lo tenga; y si es de calidad tangible, por leve y exigua que sea, irá a engrosar el número de los cuerpos y completará su total. Y si es impalpable, y por ningún lado puede impedir la penetración de otro cuerpo, será evidentemente lo que llamamos espacio vacío.

Además, todo lo que existe por sí mismo, o ejercerá una acción o sufrirá la que sobre él ejerza otro cuerpo; o será tal que en él puedan existir y producirse otras cosas; pero nada es capaz de acción y pasión si carece de cuerpo, y nada puede ofrecer espacio fuera del vacío, o sea, la extensión vacante. En consecuencia, además del vacío y los cuerpos, no

8-9. 1543, *Annus mirabilis*: Vesalio y Copérnico



En el año 1543 se publicaron dos libros que, curiosa circunstancia, terminaron convirtiéndose en clásicos de la historia de la ciencia: *De humarum corporis fabrica*, de Andreas Vesalio, y *De revolutionibus orbium coelestium*, de Nicolás Copérnico. A pesar de que ninguno de los dos logró superar completamente los límites que marcaban las disciplinas a las que se referían (Vesalio no supo desembarazarse de aspectos importantes de la fisiología galénica, del mismo modo que Copérnico no logró apartarse del sistema de los círculos perfectos), se puede decir que sus libros fueron revolucionarios, o, cuando menos, que constituyeron los cimientos de futuros cambios revolucionarios, en la anatomía y la astronomía, respectivamente; que inspiraron una serie de actividades, ideas y desarrollos que condujeron en el plazo de un par de generaciones a la promulgación de conceptos y teorías ya muy distintas a las antiguas.

La *Fábrica del cuerpo humano* (también traducida a veces como *Sobre la arquitectura del cuerpo humano*) constituyó (como se puede ver en el texto reproducido a continuación) un vibrante llamamiento en defensa de la práctica anatómica, de la disección, como base imprescindible para la comprensión de la estructura y funciones del cuerpo humano. Vibrante y artística, puesto que contiene una colección de láminas anatómicas de impresionante belleza y realismo. De hecho, como representación de estructuras y sus disposiciones en el espacio, las ilustraciones del texto de Vesalio constituyen uno de los primeros pasos —sino el primero— hacia el «realismo fotográfico» en la ciencia, paso que, por cierto, los herbolarios estaban dando al mismo tiempo en sus obras.

Por el contrario, se puede decir que *Sobre las revoluciones de los orbes celestes* es una obra de filosofía y, sobre todo, de matemáticas técnicas. Copérnico no se distinguió especialmente —al contrario que Brahe— por sus observaciones astronómicas; tampoco aspiraba a que sus predicciones fueran de una exactitud sin precedentes. Vesalio fundó un «método de descubrimiento» —en esencia, durante casi doscientos años, todo examen del funcionamiento de los organismos vivos se fundaría en la anatomía—, mientras que Copérnico explotó la idea de que era el Sol y no la Tierra el que se encontraba, inmóvil, en el centro del Universo. En el reino de la opinión o la teoría, Vesalio era mucho más reservado. Había estudiado profundamente a Galeno, una de cuyas obras había editado, y continuaba respetándole como una de las mejores autoridades en el campo de la anatomía humana, con independencia de que supiese perfectamente (y proclamase con frecuencia) que aquel gran médico de la Antigüedad únicamente había disecado monos y otros animales no humanos, o que discrepase de él (por ejemplo, en lo relativo al origen de la gran vena central del cuerpo, la vena cava, que él prefería situar en el corazón en lugar de en el hígado como hacía Galeno).

No siendo ni médico ni filósofo, con su libro Vesalio mejoró inmensamente el alcance y precisión del conocimiento relativo a la estructura del cuerpo humano, conocimiento en el que se basaría Harvey para dar el siguiente gran paso con su descubrimiento de la circulación de la sangre (1628). Pero fue entonces, y sólo entonces, con Harvey, cuando surgieron conflictos serios entre las ideas médicas antiguas y modernas.

Volviendo a Copérnico, hay que insistir en que su importancia en la historia de la ciencia radica en el hecho de que en lo que se refiere a conceptos, un elemento central de la Revolución científica fue el abandono de la visión cosmogónica, en la que la Tierra ocupaba el centro del Universo (sistema geocéntrico/tolemaico), y de la física (la dinámica, en particular) aristotélica, por una en la que los planetas se mueven en torno al Sol (sistema heliocéntrico), el sistema que Copérnico defendió en su *De*

revolutionibus. Ahora bien, existen varios problemas. Difícilmente pueden calificarse de revolucionarias las innovaciones copernicanas en lo relativo a la astronomía práctica o matemática. Desde el punto de vista estrictamente astronómico, más que cosmológico, muchos historiadores se han aprovechado de las ventajas del análisis retrospectivo para subrayar el significado revolucionario del sistema heliocéntrico y de las simplificaciones que introdujo, pero de no haber sido por Tycho Brahe y Kepler, el sistema copernicano habría contribuido a perpetuar el de Tolomeo en una forma un poco más compleja pero más grata a las mentes filosóficas.

Fueron sobre todo Kepler y Galileo quienes más hicieron en la dirección de desarrollar una astronomía y una «ciencia del movimiento» que diese una verdadera originalidad y un sentido al sistema heliocéntrico. Como es bien sabido, Copérnico no desarrolló una dinámica que hiciera plausible la idea de una Tierra en movimiento: realmente se movía, ¿cómo es que los objetos libres no se alejaban de la superficie terrestre? ¿por qué no se veía que las nubes siempre se dirigían hacia el oeste, y los cuerpos arrojados desde una torre no caían al oeste de la base de la misma?

De humani corporis fabrica (1543) (Fábrica del cuerpo humano). De la «Dedicatoria a Carlos V, el más grande e invicto emperador, de los libros de Andreas Vesalio sobre *La anatomía del cuerpo humano*»

«... Esta funesta desmembración de las técnicas curativas según las distintas tendencias ha provocado hasta ahora un naufragio mucho más execrable y una calamidad mucho más triste en la parte principal de la filosofía natural, a la que, porque abarca la anatomía humana y debe ser considerada con razón el fundamento más sólido de toda la ciencia médica y el inicio de su constitución, Hipócrates y Platón contribuyeron tanto que no dudaron en incluirla entre las partes principales de la medicina. Al principio sólo los médicos la cultivaron, poniendo todo su empeño en dominarla; pero luego, comenzó a decaer tristemente al perder la anatomía, por dejar ellos mismos en manos de otros la actividad manual. En efecto, mientras los médicos afirmaban que sólo les incumbía la curación de las afecciones internas, pensando que les bastaba con conocer las vísceras, se desentendieron de la estructura de los huesos, los músculos, los nervios, las venas y las arterias que se extienden por los huesos y los músculos, como si no fuera cosa suya. Además, como se confiaba a los barberos toda la disección, los médicos no sólo

perdieron el conocimiento auténtico de las vísceras, sino que también desapareció completamente la actividad de la disección, porque éstos no se ocupaban de hacer disecciones; a su vez, aquéllos en cuyas manos se dejaba esa actividad eran tan ignorantes que no entendían los escritos de los maestros de disección. Sólo faltaba que esta clase de hombres conservaran para nosotros este arte difícilísimo, que les fue transmitido a ellos de manera práctica, y que esta deplorable dispersión de la parte curativa no introdujera en las escuelas la deplorable costumbre según la cual unos se acostumbraron a diseccionar el cuerpo humano y otros a describir sus partes. Éstos, a modo de grajos, hablan a gritos y con gran boato desde su cátedra de lo que nunca han practicado y que sólo recuerdan por libros ajenos o de los dibujos que ponen delante de sus ojos; a su vez, los primeros desconocen las lenguas en tal medida que no pueden explicar las disecciones a los espectadores y despedazan lo que debe mostrarse según la prescripción del físico, el cual, sin aplicar nunca sus manos a la disección, sólo enseña comentando con altivez. Y del mismo modo que enseñan todo al revés y pierden días enteros en cuestiones ridículas, de igual manera en medio de esa algarabía plantean a los espectadores menos cuestiones de las que un carnicero puede enseñar a un médico en el matadero, por no decir nada de esas escuelas donde apenas se reflexiona sobre la disección de las articulaciones del cuerpo humano. ¡Hasta tal punto la vieja medicina se ha apartado desde hace muchos años del antiguo esplendor!

Por otro lado, como esa medicina ya hace algún tiempo que ha empezado a revivir con todos los estudios en esta época tan próspera (que los dioses han confiado a tu gobierno) y a levantar cabeza desde las tinieblas más profundas, de tal manera que parecía que en algunas escuelas casi se había recuperado sin discusión el antiguo esplendor y que ésta sólo necesitaba el conocimiento casi extinguido de las partes del cuerpo humano, yo mismo, estimulado por el ejemplo de tantos hombres ilustres, pensé que debía acometer esta tarea en la medida de mis fuerzas y de todas las maneras posibles. Y, puesto que todos intentan con tanto éxito alguna parte de los estudios comunes, para no quedar pasmado yo solo y para no desmerecer tampoco de mis antepasados, que fueron médicos ilustres, consideré que debía replantear desde la base esta parte de la filosofía natural, como si la tratara no entre nosotros, sino entre los antiguos maestros de disección. Esto explica que algunas veces no me avergüence de afirmar que nuestro sistema de disección puede ser comparado con el antiguo y que en esta época nada se ha derrumbado y ha sido reconstruido tan de inmediato como la anatomía.

Sin embargo, este intento no hubiera tenido éxito si, cuando trabajaba como médico en París, no me hubiera dedicado a esta empresa y mis compañeros y yo no hubiéramos tenido la oportunidad de que unos barberos nos mostraran someramente algunas vísceras en repetidas disecciones públicas. Pues allí, donde vimos por primera vez el renaci-

miento de la medicina, se trataba entonces la anatomía de manera tan superficial que yo mismo, ejercitado por iniciativa propia en algunas disecciones de animales, persuadido no sólo por mis colegas, sino también por mis maestros, practicaba públicamente más de lo habitual la tercera disección, a la que yo nunca pude asistir (la cual se practicaba sólo y principalmente con vísceras, como era costumbre allí). Pero al practicar ésta por segunda vez, intenté mostrar los músculos de la mano con una disección más esmerada. Pues, a excepción de ocho músculos del abdomen desgarrados torpemente y en orden equivocado, nunca nadie me mostró realmente ningún músculo, como tampoco ningún hueso ni, mucho menos aún, la serie de nervios, venas y arterias. Luego, en Lovaina, adonde tuve que volver a causa de la guerra, lo que allí en dieciocho años los médicos ni siquiera habían soñado respecto a la anatomía y para congraciarme con aquella escuela y coger más experiencia en un tema por completo oculto y particularmente necesario a mi juicio en el conjunto de la medicina, al ir haciendo la disección, describí con algo más de diligencia que en París la anatomía humana, de tal manera que ahora los profesores jóvenes de esa escuela parecen dedicar una atención grande y seria al conocimiento de la anatomía humana, comprendiendo bien qué egregio bagaje cultural les proporciona su conocimiento.

Por otro lado, como en Padua, en la escuela más famosa de todo el mundo, gracias al Senado de Venecia, muy ilustre y generoso en los estudios científicos, desde hace ya cinco años ocupo el cargo de profesor titular de anatomía en relación con la medicina quirúrgica, me he esforzado por conocer la anatomía humana, de tal manera que ahora he practicado con más frecuencia y, tras desterrar de las escuelas tan ridículo sistema, la he enseñado de modo que no pudiéramos echar de menos nada de lo que nos legaron los antiguos.

Pero la desidia de los médicos se preocupó demasiado de que no se conservaran las obras de Eudemo, Herófilo, Marino, Andrés, Lico y otros proceres de la disección, ya que no queda ni un fragmento de una página de tantos autores ilustres, a los que hasta Galeno cita en más de veinte ocasiones en el segundo comentario al libro de Hipócrates titulado *La naturaleza humana*, e incluso de los libros de anatomía de éste apenas se ha podido conservar la mitad. En cambio, los seguidores de Galeno, entre los que incluyo a Oribasio, a Teófilo, a los árabes y a todos los nuestros que hasta hoy he podido leer (¡que lo escrito merezca su aprobación!), todos ellos han tomado de él sus ideas más interesantes y, ¡por Júpiter!, a quien hace la disección con esmero le parece que nunca han hecho otra cosa que no sea diseccionar cuerpos. Así, los principales de éstos, confiando tan ciegamente en no sé qué tipo de lenguaje y en la indolencia de otros respecto a la disección, recogieron torpemente la doctrina de Galeno en libros voluminosos, sin apartarse ni una coma de él; e incluso en la portada de sus libros dicen que sus es-

critos proceden íntegramente de los postulados de Galeno. De tal manera han confiado todos en él, que no he encontrado ni un solo médico que piense que en los libros de anatomía de Galeno se ha encontrado alguna vez ni el más ligero error y mucho menos que pueda encontrarse, si bien, aparte de que Galeno rectifica frecuentemente y varias veces señala los errores de unos libros en otros, al estar más preparado con el paso del tiempo, diciendo acto seguido lo contrario, ahora nos consta, basándonos en el renacido arte de la disección, en la lectura atenta de los libros de Galeno y en muchos lugares de los mismos aceptablemente corregidos, que él en persona nunca diseccionó un cuerpo humano recién muerto. Sin embargo, sabemos que, engañado por sus monos (aunque se le presentaron cadáveres humanos secos y como preparados para examinar los huesos), frecuentemente criticaba sin razón a los médicos antiguos que se habían ejercitado en disecciones humanas. Puedes incluso encontrar en él muchísimas cosas que ha descubierto de manera poco ortodoxa en los monos. Además, resulta muy extraño que, a pesar de las múltiples diferencias existentes entre los órganos del cuerpo humano y los de los monos, Galeno no haya advertido casi ninguna salvo en los dedos y en la flexión de la rodilla, observación que sin duda hubiera omitido, lo mismo que las otras, si no fuera evidente sin necesidad de practicar la disección humana.

Pero, por el momento, no es mi intención criticar los postulados falsos de Galeno, sin duda el principal maestro de disección, y mucho menos aún quisiera que se me considerara desde el principio como irrespetuoso con este autor de tanto mérito y poco considerado hacia su autoridad. Sé, en efecto, cuan nerviosos suelen ponerse los médicos (muy al contrario que los seguidores de Aristóteles) cuando, al observar ellos las partes diseccionadas en la realización de una única disección que ahora expongo en las escuelas, comprueban que Galeno se ha desviado en más de doscientas ocasiones de la auténtica descripción de la armonía, del uso y de la función de las partes del cuerpo humano, a veces orgullosamente y con el deseo manifiesto de defenderse. Aunque también ellos, impulsados por el amor a la verdad, a partir de ese momento van entrando poco a poco en razón y dan más crédito a sus propios ojos y a los argumentos sólidos que a los escritos de Galeno, escribiendo aquí y allá tan asiduamente a los amigos que esas contradicciones no han sido corregidas por los intentos de otros ni reforzadas sólo por la acumulación de testimonios de autoridad, animándolos tan solícita y amigablemente a que las revisen y a que conozcan la verdadera anatomía, que hay esperanza de que en breve ésta se cultive en todas las escuelas tal y como solía practicarse en otro tiempo en Alejandría.

Para que esto resulte bien, con los auspicios favorables de las Musas, en la medida que me fue posible (salvo lo publicado en otra parte sobre este tema y que ciertos plagarios, pensando que yo estaba lejos de Germania, publicaron como suyo), he expuesto en siete libros la des-

cripción completa de las partes del cuerpo humano según el orden que suelo seguir en mis explicaciones en esta ciudad, en Bolonia y en Pisa, en la asamblea de eruditos, ya que de este modo los que asisten al diseccionador tendrán las explicaciones de lo señalado y enseñarán más fácilmente la anatomía a los otros. Aunque, por otra parte, también serán muy útiles a quienes no tienen ocasión de observar una disección, puesto que incluyen con bastante extensión el número de todas las partes más pequeñas del cuerpo humano, su emplazamiento, su forma, su sustancia, su conexión con otras partes, su utilidad, su función y muchos otros datos similares que solemos escudriñar en la disección, así como la técnica de disección de muertos y vivos, y contienen dibujos de todas las partes insertas en el texto escrito, de tal modo que parecen poner ante los ojos de los estudiosos de la naturaleza el cuerpo diseccionado.

En el primer libro explico la naturaleza de los huesos y de los cartílagos, que, como sostienen las partes restantes y son descritos en función de ellas, deben ser conocidos primero por los estudiosos de la anatomía. El libro segundo habla de los ligamentos, que unen entre sí los huesos y los cartílagos, y después de los músculos, que son autores de los movimientos voluntarios. El tercero abarca la numerosa serie de venas que llevan a los músculos, a los huesos y a las demás partes la sangre necesaria para su nutrición, y después la serie de las arterias que moderan la temperatura del calor natural y del aliento vital. El cuarto no sólo nos muestra las ramificaciones de los nervios que llevan el aliento vital a los músculos, sino también las de todos los demás. El quinto muestra la estructura de los órganos de la nutrición y, además, a causa de su proximidad, incluye también los instrumentos creados por el Artífice Supremo para la propagación de la especie. El sexto está dedicado al corazón, impulsor de la facultad vital, y a las partes que le sirven. Y el séptimo expone la armonía de los órganos del cerebro y de los sentidos, pero sin repetir la serie de nervios procedentes del cerebro, ya explicada en el libro cuarto.»

ANDREAS VESALIO (Bruselas, 1514- isla de Zakintos, 1564). Nació en el seno de una familia que contaba con varios médicos entre sus antepasados (su padre era farmacéutico imperial). Obtuvo el título de bachiller en Lovaina, publicando una tesis en la que comparaba las terapias musulmana y galénica: *Paraphrasis in nonum librum Rhazac ad regem Almansorem* (Lovaina, 1537). También estudió en París y Padua, ciudad en la que publicó su famoso *De humani corporis fabrica*, cuando tenía sólo veintinueve años de edad. Fue uno de los médicos de Carlos V y después también de Felipe II. Parece ser que falleció en un naufragio que se produjo en las proximidades de la isla de Zakintos, Grecia, cuando regresaba de una peregrinación a Tierra Santa.

Copérnico

Al margen de lo señalado anteriormente, hay una cuestión de especial importancia: ¿Creía el propio Copérnico en el sistema del mundo que proponía en *De revolutionibus*? ¿Pensaba, efectivamente, que la Tierra gira en torno al Sol? Y por qué no habría de creer, podemos preguntarnos. La respuesta a esta cuestión tiene que ver con la actitud reinante entonces en la Iglesia católica, que favorecía firmemente el sistema aristotélico-tolemaico, un sistema éste en el que la Tierra es el centro del Universo, visión que se acomodaba bastante bien con la idea cristiana de que los seres humanos (la única criatura creada a imagen de Dios) constituyen la obra favorita, central, del Señor. Y no hay que olvidar el clima reinante dentro de la Iglesia, clima que culminó en el Concilio de Trento (1545), cuando se decretaría, dentro del contexto de la lucha contra la Reforma, que al interpretar la Biblia no había que desviarse de las doctrinas mantenidas por los Padres de la Iglesia; en particular, que la Biblia era una fuente de datos científicos y que cualquier afirmación contenida en ella debía tomarse como científicamente verdadera.

Para que los lectores se puedan formar su propia idea de cuales eran las opiniones de Copérnico incluyo un largo extracto del «Prefacio» que dedicó al «Santísimo Señor Pablo III, Pontífice Máximo». A través de él se verá, creo, que no está claro que el astrónomo y sacerdote polaco no creyese en la verdad del sistema heliocéntrico. Resulta, no obstante, que la lectura del *De revolutionibus* quedó condicionada por el contenido de otro «Prefacio» incluido en la obra, que, además, precedía al de Copérnico. Este «prefacio» —que también reproduzco a continuación— apareció en la primera edición sin firmar, pero no fue debido a Copérnico sino a la pluma del teólogo protestante Andreas Osiander (1498-1552), responsable de la edición de la obra, quien lo incluyó, según sabemos, sin que Copérnico, que de hecho murió —el 24 de mayo de 1543— mientras se imprimía su libro, lo autorizase (no se sabe si llegó a ver, en su lecho de muerte, un ejemplar). La opinión que sostenía allí Osiander —«no espere nadie», escribía, «en lo que respecta a las hipótesis, algo cierto de la astronomía, pues no puede proporcionarlo» — no apoyaba que fuese verdad el sistema heliocéntrico, y, al aparecer sin firmar, fue tomada, inevitablemente, como el punto de vista del propio autor del libro.

Tal vez por esto, *De revolutionibus* tuvo a la postre menos problemas

— aunque los tuvo— que otros libros: en 1616, fue incorporado al *Index Librorum Prohibitorum*, pero quedó proscrito «*doñee corrigatur*» («hasta que sea corregido»), mientras que el *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo* de Galileo, prohibido en 1633, ingresó en el *Index* incondicionalmente, y ahí siguió hasta 1835, a pesar de que en 1757 el papa Benedicto XIV revocó el decreto anti copernicano.

De revolutionibus orbium coelestium (1543) (*Sobre las revoluciones de los orbes celestes*). «Prefacio» de
Andreas Osiander

«Divulgada ya la fama acerca de la novedad de las hipótesis de esta obra, que considera que la Tierra se mueve y que el Sol está inmóvil en el centro del Universo, no me extraña que algunos eruditos se hayan ofendido vehementemente y consideren que no se deben modificar las disciplinas liberales constituidas ya hace tiempo. Pero si quieren ponderar la cuestión con exactitud, encontrarán que el autor de esta obra no ha cometido nada por lo que merezca ser reprendido. Pues es propio del astrónomo calcular la historia de los movimientos celestes con una labor diligente y diestra. Y además, concebir y configurar las causas de estos movimientos, o sus hipótesis, cuando por medio de ningún proceso racional puede averiguar las verdaderas causas de ellos. Y con tales supuestos pueden calcularse correctamente dichos movimientos a partir de los principios de la geometría, tanto mirando hacia el futuro como hacia el pasado. Ambas cosas ha establecido este autor de modo muy notable. Y no es necesario que estas hipótesis sean verdaderas, ni siquiera que sean verosímiles, sino que basta con que muestren un cálculo coincidente con las observaciones, a no ser que alguien sea tan ignorante de la geometría o de la óptica que tenga por verosímil el epiciclo de Venus, o crea que esa es la causa que precede unas veces al Sol y otras le sigue en cuarenta grados o más. ¿Quién no advierte, supuesto esto, que necesariamente se sigue que el diámetro de la estrella en el perigeo es más de cuatro veces mayor, y su cuerpo más de dieciséis veces mayor de lo que aparece en el apogeo, a lo que, sin embargo, se opone la experiencia de cualquier edad? También en esta disciplina hay cosas no menos absurdas que en este momento no es necesario examinar. Está suficientemente claro que este arte no conoce completa y absolutamente las causas de los movimientos aparentes desiguales. Y si al su-

poner algunas, y ciertamente piensa muchísimas, en modo alguno suponga que puede persuadir a alguien [que son verdad] sino tan sólo para establecer correctamente el cálculo. Pero ofreciéndose varias hipótesis sobre uno solo y el mismo movimiento (como la excentricidad y el epiciclo en el caso del movimiento del Sol) el astrónomo tomará la que con mucho sea más fácil de comprender. Quizá el filósofo busque más la verosimilitud: pero ninguno de los dos comprenderá o transmitirá nada cierto, a no ser que le haya sido revelado por la divinidad. Por lo tanto, permitamos que también éstas nuevas hipótesis se den a conocer entre las antiguas, no como más verosímiles, sino porque son al mismo tiempo admirables y fáciles y porque aportan un gran tesoro de sapientísimas observaciones. Y no espere nadie, en lo que respecta a las hipótesis, algo cierto de la astronomía, pues no puede proporcionarlo; para que no salga de esta disciplina más estúpido de lo que entró, si toma como verdad lo imaginado para otro uso.»

«Prefacio» al «Santísimo Señor Pablo III,
Pontífice Máximo», *De revolutionibus orbium
coelestium* (1543), N. Copérnico

«Santísimo Padre, puedo estimar suficientemente lo que sucederá en cuanto algunos aprecien, en estos libros míos, que he escrito acerca de las revoluciones de las esferas del mundo, que atribuyo al globo de la Tierra algunos movimientos, y clamarán para desaprobarme por tal opinión. Pues no me satisfacen hasta tal punto mis opiniones, como para no apreciar lo que otros juzguen de ellas... Y así, al pensar yo conmigo mismo, cuán absurdo estimarían [lo que digo] aquellos que, por el juicio de muchos siglos, conocieran la opinión confirmada de que la Tierra inmóvil está colocada en medio del cielo como su centro, si yo, por el contrario, asegurara que la Tierra se mueve, entonces dudé en mi interior largo tiempo, si dar a la luz mis comentarios escritos sobre la demostración de ese movimiento o si, por el contrario, sería suficiente seguir el ejemplo de los pitagóricos y de algunos otros, que no por escrito, sino oralmente, solían transmitir los misterios de su filosofía únicamente a amigos y próximos... Pero los amigos me hicieron cambiar de opinión, a mí que tanto tiempo dudaba y me resistía...

Y quizá, tu Santidad no admirará tanto el que me haya atrevido a sacar a la luz estas elucubraciones, después de tomarme tanto tiempo en elaborarlas, como el que no haya dudado en poner por escrito mis pensamientos sobre el movimiento de la Tierra. Pero lo que más espe-

rara oír de mí es qué me pudo haber venido a la mente para que, contra la opinión recibida de los matemáticos e incluso contra el sentido común, me haya atrevido a imaginar algún movimiento de la Tierra. Y así, no quiero ocultar a tu Santidad que ninguna otra cosa me ha movido a meditar sobre otra relación para deducir los movimientos de las esferas del mundo, sino el hecho de comprender que los matemáticos no están de acuerdo con aquellas investigaciones. Primero, porque estaban tan inseguros sobre el movimiento del Sol y de la Luna, que no podían demostrar ni observar la magnitud constante de la revolución anual. Después, porque al establecer los movimientos, no sólo de aquellos, sino también de las otras cinco estrellas errantes, no utilizan los mismos principios y supuestos, ni las mismas demostraciones en las revoluciones y movimientos aparentes. Pues unos utilizan sólo círculos homocéntricos, otros, excéntricos y epiciclos, con los que no consiguen plenamente lo buscado... Tampoco pudieron hallar o calcular partiendo de ellos lo más importante, esto es, la forma del mundo y la simetría exacta de sus partes... En consecuencia, reflexionando largo tiempo conmigo mismo sobre esta incertidumbre de las matemáticas transmitidas para calcular los movimientos de las esferas del mundo, comenzó a enojarme que a los filósofos que en otras cuestiones han estudiado tan cuidadosamente las cosas más minuciosas de ese orbe, no les constara ningún cálculo seguro sobre los movimientos de la máquina del mundo, construida para nosotros por el mejor y más regular artífice de todos. Por lo cual me esforcé en releer los libros de todos los filósofos que pudiera tener, para indagar si alguno había opinado que los movimientos de las esferas eran distintos a los que suponen quienes enseñan matemática en las escuelas. Y encontré en Cicerón que Niceto fue el primero en opinar que la Tierra se movía. Después, también en Plutarco encontré que había otros de esa opinión...

En consecuencia, aprovechando esa ocasión empecé yo también a pensar sobre la movilidad de la Tierra...

Y yo, supuestos los movimientos que más abajo en la obra atribuyo a la Tierra, encontré... que, si se relacionan los movimientos de los demás astros errantes con el movimiento circular de la Tierra, y si los movimientos se calculan con respecto a la revolución de cada astro, no sólo de ahí se siguen los fenómenos de aquéllos, sino que también se ponen en relación el orden y la magnitud de los astros y de todas las órbitas, e incluso el cielo mismo; de tal modo que en ninguna parte puede cambiarse nada, sin la confusión de las otras partes y de todo el Universo... No dudo que los ingeniosos y doctos matemáticos concordarán conmigo, si, como la filosofía exige en primer lugar, quisieran conocer y explicar, no superficialmente sino con profundidad, aquello que para la demostración de estas cosas ha sido realizado por mí en esta obra. Pero, para que tanto los doctos como los ignorantes por igual vieran que yo no evitaba el juicio de nadie, preferí dedicar estas elucubraciones a tu

Santidad antes que a cualquier otro, puesto que también en este remotísimo rincón de la Tierra, donde yo vivo, eres considerado como eminentísimo por la dignidad de tu orden y también por tu amor a todas las letras y a las matemáticas, de modo que fácilmente con tu autoridad y juicio puedes reprimir las mordeduras de los calumniadores, aunque está en el proverbio que no hay remedio contra la mordedura de un sicofante.»

NICOLÁS COPÉRNICO (Torún, 1473- Frombork, 1543). Sobrino del obispo de Warmia, estudió matemáticas, jurisprudencia y medicina en Cracovia, Padua, Ferrara y Bolonia (fue en esta ciudad italiana donde profundizó en sus conocimientos astronómicos, de la mano de Domenico Maria di Novara). Dedicó la mayor parte de su vida a tareas administrativas y religiosas, siendo sus obras astronómicas más el fruto de estudiar la bibliografía que de observaciones propias (aunque también las realizó). Antes que en *De revolutionibus*, puso en circulación sus ideas de manera privada en un breve opúsculo (*Nicolai Copernici de hypothesibus motuum coelestium a se constitutis commentariolus*) conocido como *Commentariolus*, que sólo sería publicado siglos después. Hasta su muerte fue canónigo de la catedral de Frombork.

10. Contra Aristóteles: Galileo



Hay nombres a los que les rodea un aura especial, que el paso del tiempo no logra disipar; a veces, incluso lo acrecienta. El de Galileo es uno de ellos. Aquella mítica frase que dicen que murmuró tras sucumbir ante las presiones del tribunal eclesiástico que le juzgó en abril de 1633, y abjurar de la creencia de que la Tierra se mueve alrededor del Sol, «Eppur si muove» —«Y sin embargo se mueve»—, se ha convertido en un canto a la libertad frente a la opresión, en la manifestación última de que a pesar de todo, de la tiranía, del sometimiento forzado, de errores que sean casi universalmente aceptados como ciertos, la verdad —y la justicia— tiene un valor irrenunciable, y que siempre hay un lugar donde albergarla y protegerla: en la intimidad de nuestro cerebro.

Pero, naturalmente, no debemos limitar nuestro recuerdo de Galileo a esa hermosa, acaso apócrifa, sin duda triste y dramática, manifestación. Detrás de ella, justificándola y vivificándola, existe una larga y brillante

trayectoria científica, con aportaciones monumentales a la ciencia del movimiento y al conocimiento del cosmos. En este último apartado, el del movimiento y la situación de los cuerpos celestes, se debe a Galileo el derrumbe del edificio aristotélico-tolemaico y la afirmación definitiva del sistema heliocéntrico copernicano. Como ya he tenido oportunidad de apuntar con anterioridad, además de situar a la Tierra en el centro del Universo, la ortodoxia aristotélico-tolemaica, claramente dominante, mantenía que la corrupción, degeneración y mutabilidad que se producía constantemente en la Tierra, no existía a partir de la esfera de la Luna, donde reinaba la inmutabilidad (consistente, por supuesto, con el movimiento de esos cuerpos según círculos, también perfectos).

Para derrumbar ese sistema, Galileo contó con un nuevo instrumento: el telescopio. Tras oír noticias de la existencia de este aparato, al que es difícil señalar una paternidad concreta, Galileo se construyó (aparentemente en agosto de 1609) uno de pocos aumentos: de 3 inicialmente, aunque pronto llegaría a los 30. Al principio, pensó en él como instrumento militar, que le reportaría beneficios, pero no tardó en apuntarlo hacia el cielo. Y allí encontró la mutabilidad que negaban los aristotélicos y tolemaicos. Vio relieves lunares, en lo que se suponía debía ser una esfera perfecta. Vio tres estrellas —*mediceos* las llamó, para halagar (y buscar su favor) a Cosme II de Médicis, IV Gran Duque de Toscana— moviéndose en torno a Júpiter. Vio manchas en la superficie del Sol. Con todo ello, su ya existente convicción en la verdad del sistema copernicano se reafirmó. Había llegado el momento de defenderlo públicamente. Escribió (1610) a tal fin *Sidéreus Nuncius* (*El mensajero sideral*). Sin embargo, ninguna de sus obras se puede comparar con el *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano* (1632). Escrita en italiano, y no en el culto, pero también inaccesible para la mayoría, latín, esta obra ha permanecido en la memoria colectiva convertida en un auténtico clásico. Su origen se remonta a 1624, cuando el nuevo papa, Urbano VII, concedió a Galileo permiso para discutir el sistema copernicano en un libro, «siempre que se diese una igual e imparcial discusión de los argumentos en favor del sistema tolemaico». Galileo ejecutó esta orden literalmente en una obra que le mantuvo ocupado los siguientes seis años, y que presentó bajo la forma de un diálogo entre tres personajes: Salviati, defensor de la teoría copernicana, Simplicio, representante de la ortodoxia tolemaica y aristotélica, y al que se interpretó generalmente como si fuese el propio papa, y Sagredo, un lego educado e imparcial que actuaba como moderador. De ella he seleccionado unos fragmentos (en los que no aparece Sagredo), que tratan, a propósito de las manchas solares y de los cometas, de la cuestión de si existe o no un Universo corruptible más allá de la Tierra. Nótese, por cierto, que algunos pa-

sajes muestran claramente la importancia que tuvo la educación artística que recibió Galileo en su juventud, para interpretar las perspectivas, es-corzos, sombras o claroscuros en las figuras que veía en el cielo en favor de las tesis copernicanas (la primera solicitud de trabajo que realizó, cuando tenía veinticuatro años, para enseñar geometría y perspectiva, fue en un centro de artes visuales y arquitectura: la Academia de Diseño de Florencia, fundada por Vasari).

Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico e copernicano (1632) (Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo, ptolemaico y copernicano)

«SIMPLICIO. Aristóteles construyó su principal fundamento sobre el razonamiento *a priori*, mostrando la necesidad de la inalterabilidad del cielo por sus principios naturales, manifiestos y claros. Y lo mismo estableció después *a posteriori* mediante los sentidos y las tradiciones de los antiguos.

SALVIATI. El que vos enunciáis es el método con el que escribió su doctrina, pero yo no creo que sea el que utilizó para la investigación de ésta, porque estoy seguro de que primero procuró asegurarse cuanto fuera posible de las conclusiones mediante los sentidos, las experiencias y las observaciones, y que después trató de buscar los medios para poder demostrarla, porque así se hace usualmente en las ciencias demostrativas. Eso sucede porque, cuando la conclusión es verdadera, sirviéndose del método resolutivo, fácilmente se encuentra alguna proposición ya demostrada, o se llega a algún principio conocido por sí mismo. Pero si la conclusión es falsa, se puede proceder al infinito sin encontrar nunca una verdad conocida, cuando no se encuentra algo imposible o algún absurdo evidente. Y no dudéis que Pitágoras, mucho antes de encontrar la demostración por la que celebró la hecatombe, se había asegurado que, en triángulo rectángulo, el lado opuesto al ángulo recto era igual a los cuadrados de los otros dos lados. Y la certeza de la conclusión ayuda no poco a encontrar la demostración, refiriéndonos siempre a las ciencias demostrativas. Pero fuese cual fuese el proceso que siguió Aristóteles, sea que el razonamiento *a priori* precediese a los sentidos *a posteriori*, o lo contrario, está claro que el propio Aristóteles antepone (como se ha dicho muchas veces) la experiencia sensible a cualesquiera razonamientos. Aparte de que ya se ha examinado cuál es la fuerza de los razonamientos *a priori*.

Así pues, volviendo al tema, insisto, las cosas descubiertas en los cielos en nuestros tiempos son y han sido tales que pueden satisfacer enteramente a todos los filósofos, puesto que tanto en los cuerpos concretos como en toda la extensión del cielo se han visto y se ven aún accidentes parecidos a los que, entre nosotros, llamamos generaciones y corrupciones. Efectivamente, excelentes astrónomos han observado muchos cometas generados y deshechos en las partes más altas de la esfera lunar, además de las dos estrellas nuevas de los años 1572 y 1604, sin ninguna duda muy por encima de todos los planetas. Y en la faz del propio Sol se ve, gracias al telescopio, que se forman y disuelven materias densas y oscuras, de aspecto muy parecido a las nubes en torno a la Tierra, y muchas de ellas son tan grandes que superan con mucho, no sólo la cuenca del Mediterráneo, sino África entera y además Asia. Así pues, si Aristóteles viese estas cosas, ¿qué creéis, Sr. Simplicio, que diría o haría?

SIMP. Yo no sé lo que diría o haría Aristóteles, que era el señor de las ciencias, pero sé bien lo que, por su parte, hacen y dicen, y es propio que hagan y digan, sus seguidores para no quedarse sin rumbo, sin guía y sin jefe en la filosofía.

En cuanto a los cometas, esos modernos astrónomos, que pretendían que eran celestes, ¿no han quedado convencidos por el *Anti-Tycho* [obra de Scipione Chiaramonti, publicada en 1621], es más, convencidos con sus propias armas, es decir, mediante las paralajes, y cálculos manejados de cien maneras, llegando finalmente a la conclusión favorable a Aristóteles de que todos son elementales? Y derrumbando esto que era la única base que tenían los seguidores de las novedades, ¿qué les queda para mantenerse en pie?

SALV. Un poco de calma, Sr. Simplicio. ¿Qué dice este autor moderno de las nuevas estrellas del 1572 y del 1604, y de las manchas solares? Porque respecto a los cometas, yo personalmente pondría pocas pegas tanto a que se consideren generados bajo la Luna como sobre ella. Ni he confiado nunca mucho en la locuacidad de Tycho, ni tengo inconveniente alguno en creer que la materia de los cometas sea elemental y que pueda elevarse cuanto se quiera, sin encontrar obstáculos en la impenetrabilidad del cielo peripatético, que yo considero más tenue, más dúctil y bastante más sutil que nuestro aire. En cuanto a los cálculos de las paralajes, por una parte las dudas de si los cometas están sujetos a tales accidentes y, por otra, la incertidumbre de las observaciones sobre las que se han hecho los cálculos me hacen sospechar tanto de unas opiniones como de otras. Además me parece que el *Anti-Tycho* a veces acomoda o considera falaces, según le conviene, las observaciones que no casan con su diseño.

SIMP. En cuanto a las estrellas nuevas, el *Anti-Tycho* las despacha perfectamente en cuatro palabras, diciendo que no es seguro que esas modernas estrellas nuevas formen parte de los cuerpos celestes y que si los

adversarios quieren probar que allá arriba existe la alteración y la generación están obligados a demostrar que se han producido cambios en las estrellas descritas desde hace ya mucho tiempo y que nadie duda que son cosas celestes, lo que nunca podrán lograr por medio alguno.

Por lo que respecta a las materias que, según algunos, se generan y disuelven en la faz del Sol, no las menciona, de lo cual deduzco que las considera un cuento, o ilusiones del telescopio o, a lo sumo, como afectaciones producidas por el aire, en definitiva, como cualquier cosa que no sea materias celestes.

SALV. Pero y vos, Sr. Simplicio, ¿qué imagináis que se puede responder contra estas manchas importunas, que han venido a enturbiar el cielo y más aún la filosofía peripatética? Es preciso que, como intrépido defensor de ésta, hayáis encontrado en ella respuesta y solución de la que no podéis privarnos.

SIMP. He oído distintas opiniones respecto a este punto. "Hay quien dice que son estrellas que, al igual que Venus y Mercurio, giran en torno al Sol y, cuando pasan por debajo de éste, nos parecen oscuras, y que debido a que son muy numerosas, a menudo sucede que parte de ellas se juntan y después se separan. Otros creen que son impresiones debidas al aire, otros que son ilusiones de los cristales; y otros, otras cosas. Pero yo me siento bastante inclinado a creer, incluso tengo por cierto, que son un agregado de numerosos y distintos cuerpos opacos, que se encuentran casi casualmente unos con otros. Y por ellas a menudo vemos que, en una mancha, se pueden enumerar diez o más de esos pequeños cuerpos, que son de formas irregulares y tienen aspecto como de copos de nieve, o de lana, o de moscas volando. Cambian el sitio entre sí, ahora se separan y ahora se congregan, sobre todo bajo el Sol en torno del cual giran, como alrededor del centro. Pero no por ello hay que creer que se generan y corrompen allá, sino más bien que algunas veces se ocultan detrás del Sol y otras, aunque estén alejadas de éste, no se ven debido a la proximidad de la desmesurada luz del Sol. Pues en la esfera excéntrica del Sol existe algo así como una cebolla compuesta de muchas capas, una dentro de otra, cada una de las cuales está cuajada de pequeñas manchas y se mueve. Y aunque su movimiento al principio haya parecido variable e irregular, últimamente se dice que se ha observado que las mismas manchas regresan con precisión después de determinado tiempo."

Esta es la respuesta que me parece más adecuada, de las que hasta hoy se han hallado, para explicar estos fenómenos y, a la vez, mantener la incorruptibilidad e ingenerabilidad del cielo. Y si esto no bastase, no faltarían ingenios más capaces que encontrarían otras mejores.

SALV. Si estuviéramos discutiendo sobre algo de leyes o de otros estudios de humanidades en los que no hay verdad ni falsedad, se podría confiar suficientemente en la sutileza del ingenio, en la rapidez verbal y en la mayor destreza de los escritores, y esperar que el que uno ven-

ciase en estas cosas, sirviese para poner de manifiesto y permitir juzgar la superioridad de su razonamiento. Pero en las ciencias naturales, cuyas conclusiones son verdaderas y necesarias y no cuenta para nada el arbitraje humano, hay que guardarse de no estar defendiendo lo falso, porque mil Demóstenes y mil Aristóteles se quedarían con un palmo de narices ante cualquier ingenio mediocre que hubiera tenido la suerte de aferrarse a la verdad. Así pues, Sr. Simplicio, desechad la idea y la esperanza que tenéis de que pueda haber hombres tanto más doctos de lo que somos nosotros que, a pesar de la naturaleza, sean capaces de convertir en verdadero lo que es falso. Y puesto que, de entre todas las opiniones que se han dado hasta aquí sobre la esencia de las manchas solares, la que acabáis de explicar os parece la verdadera, se deduce (si esto es así) que todas las demás son falsas. Pero yo, para libraros de dicha opinión, que es una falsísima quimera, dejaré de lado las múltiples posibilidades que hay, y aportaré sólo dos experiencias en contra.

La primera consiste en que se ve que muchas de estas manchas nacen en medio del disco solar y que muchas otras a su vez se disuelven y desvanecen lejos del borde solar. Esto prueba necesariamente que se generan y se disuelven, porque si apareciesen allí, sin generarse y corromperse, sólo por el movimiento local, se vería que todas entran y salen por el borde de la circunferencia.

La otra observación, para los más ignorantes en perspectiva, concluye necesariamente, a partir del cambio de apariencia de las figuras y del cambio aparente de la velocidad del movimiento, que las manchas solares son contiguas al cuerpo solar, que tocan su superficie y se mueven con ella y sobre ella, y que no giran en absoluto en círculos alejados de dicho cuerpo. Lo prueba el movimiento [de las manchas], que cerca del borde del disco solar es lentísimo, y hacia el centro es más veloz; lo prueban las formas de las manchas, que cerca del borde aparecen estrechísimas si las comparamos con las que aparecen en las partes centrales, lo que se debe a que en las partes centrales se ven en toda su grandiosidad y tal como realmente son, mientras que hacia el borde, debido a lo huidizo de la superficie globular, se ven en escorzo. Quien ha sabido observar y calcular diligentemente una y otra disminución, de forma y de movimiento, comprueba que corresponde con precisión a lo que debe verse si las manchas están contiguas al Sol, y que está en inevitable conflicto con el movimiento en círculo por poco alejados que estén del cuerpo solar, como ha sido ampliamente demostrado por nuestro amigo en las *Cartas sobre las Manchas Solares al Sr. Marco Velseri* [obra de Galileo, publicada por la Accademia dei Lincei en 1613]. Del propio cambio de forma se deduce que ninguna de ellas es una estrella u otro cuerpo de forma esférica. Puesto que, entre todas las figuras, sólo la esfera no se ve nunca en escorzo, ni puede representarse más que perfectamente redonda. Así pues, si alguna de las manchas solares fuese un cuerpo redondo, como se cree que son las estrellas, se vería igualmen-

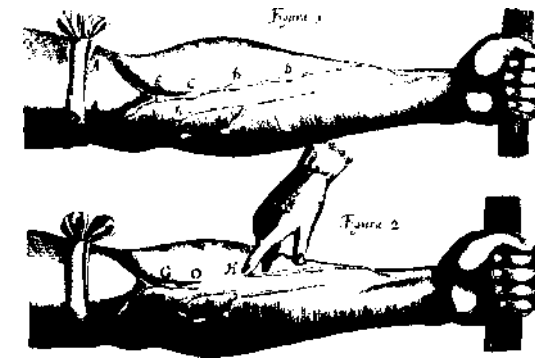
te redonda tanto en el centro del disco solar como cerca del borde. Luego, el hecho contrario, grandes y anchas hacia el centro, nos muestra con toda seguridad que son láminas de poca profundidad y grosor en comparación con su longitud y anchura.

En cuanto a que últimamente se haya observado que las mismas manchas vuelvan a aparecer puntualmente, después de determinados períodos, no lo creáis, Sr. Simplicio, quien os lo ha dicho os quiere engañar. Observad que es así por el hecho de que no os ha dicho nada de las que se generan y de las que se disuelven en la faz del Sol, lejos del borde, ni tampoco ha mencionado nada del fenómeno del escorzo, que es una prueba necesaria de que están contiguas al Sol. Respecto al retorno de las mismas manchas, no hay más que lo que puede leerse en las mencionadas *Cartas*, es decir, que puede suceder que a veces algunas duren tanto que no se deshagan en una sola vuelta en torno al Sol, que se hace en menos de un mes.

SIMP. A decir verdad, yo no he hecho ni tan largas ni tan diligentes observaciones que puedan bastarme para dominar el *quodest* de este tema. Pero, en cualquier caso, quiero hacerlas y después comprobar por mí mismo si efectivamente puedo hacer coincidir lo que presenta la experiencia con lo que nos demuestra Aristóteles, porque está claro que dos verdades no pueden oponerse.»

GALILEO GALILEI (Pisa, 1564- Arcetri, 1642). Hijo de un músico, comenzó estudiando medicina, aunque pronto la dejó por la física y las matemáticas, disciplinas que enseñaría en Pisa, Padua y Florencia. Entre sus hallazgos no astronómicos más notables se encuentra el del isocronismo (oscilaciones de péndulos de pequeña amplitud, que se producen en tiempos iguales). Además de las obras citadas en lo que precede, escribió algunas tan importantes para la ciencia de la mecánica como *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alia mecánica i movimenti locali* (Leiden, 1638) (*Discursos y demostraciones en tomo a dos nuevas ciencias relacionadas con la mecánica y movimientos locales*).

11. La circulación de la sangre: Harvey



Como ya mencioné al introducir a Vesalio, aunque la obra anatómica de éste mejoró sustancialmente el alcance y la precisión del conocimiento relativo a la estructura del cuerpo humano, el gran paso en la superación de las ideas antiguas sobre el cuerpo humano vino de un inglés, William Harvey, a quien se debe un descubrimiento tan trascendente y próximo a todos nosotros como es la circulación mayor de la sangre. Fue entonces cuando realmente surgieron conflictos serios entre las ideas médicas antiguas y las modernas.

Observador incansable de la vida animal en todas sus formas, Harvey llevó a cabo investigaciones originales sobre, entre otras cuestiones, los movimientos del corazón, respiración, funciones del cerebro, anatomía patológica, y generación y locomoción animal. Sin embargo, solamente llegaron a ser publicados sus estudios sobre el corazón y generación animal (*Exercitationes de generatione animalium*, Londres, 1651), perdiéndose muchas de sus

notas y manuscritos cuando sus habitaciones en Whitehall fueron saqueadas en 1642, desgracia a la que se unió el que otra parte sucumbió, junto a su biblioteca, en el gran incendio que asoló a Londres en 1666, nueve años después de su muerte. Pero bastó con la aparición de su relativamente breve memoria *Exercitatio anatómica de motu coráís et sanguinis in animalibus* (*Una disquisición anatómica relativa al movimiento del corazón y la sangre en los animales*) de 1628, en la que anunció el descubrimiento de la circulación mayor de la sangre, para que su nombre ocupe un lugar de honor en la historia del pensamiento científico. De esta obra he seleccionado los pasajes más relevantes para poder comprender su aportación.

Exercitatio anatómica de motu coráís et sanguinis in animalibus (1628) (*Una disquisición anatómica relativa al movimiento del corazón y la sangre en los animales*)

«La existencia de la circulación de la sangre se deduce de la demostración de una primera tesis.

Para que no diga alguno que no hacemos sino formular palabras y hacer afirmaciones especiosas sin fundamento alguno, y que no innovamos con causa justificada, vienen a continuación tres tesis que se han de demostrar, admitidas las cuales, sigúese a mi juicio esa verdad y se pone en evidencia la cuestión.

En primer lugar, que de una manera continua e ininterrumpida el pulso del corazón transmite sangre de la vena cava a las arterias, en tan gran cantidad, que no puede ser suministrada por los alimentos ingeridos, y de tal manera que toda la masa de la sangre pasa en breve tiempo por él. En segundo lugar, que de una manera continua, igual e ininterrumpida, la sangre es impelida y llega a todos los miembros y partes del cuerpo por el pulso de las arterias, en una cantidad mucho mayor que la que es suficiente para la nutrición o que la que puede ser suministrada por la masa total de los alimentos ingeridos. E igualmente, en tercer lugar, que las venas vuelven a llevar continuamente la sangre desde cada uno de los miembros al corazón.

Demostrados estos puntos, creo que será manifiesto que la sangre efectúa un rodeo, siendo impulsada del corazón a las extremidades y regresando de las extremidades al corazón, y que así lleva a cabo una especie de movimiento circular.

Supongamos, ya por el pensamiento, ya mediante un experimento, que la sangre que contiene el ventrículo izquierdo en su dilatación (cuando está repleto) sea dos onzas [una onza (inglesa) = 28,34 gra-

mos], tres onzas o una onza y media (yo encontré en un cadáver más de dos onzas); supongamos igualmente cuánto menos contiene en el momento mismo de la contracción, o cuánto se contrae el corazón y cuánta menos capacidad tiene el ventrículo en la contracción misma o en las propias contracciones; cuánta sangre arroja la arteria magna [aorta] (que arroja siempre algo se ha demostrado en el capítulo III, y todos reconocen que lo hace en la sístole, convencidos de ello por el mecanismo de las válvulas); y séanos lícito suponer, mediante una conjetura verosímil, que penetra en la arteria la cuarta, la quinta o la sexta parte o, por lo menos, la octava. Así, supongamos que en el hombre se arrojan, con cada pulsación del corazón, media onza o tres dracmas [una dracma (inglesa) = 3,54 gramos], o una dracma de sangre que no puede volver al corazón debido al impedimento de las válvulas. En media hora el corazón da más de mil pulsaciones; en algunos y algunas veces, dos o tres o cuatro mil. Multiplicando por esta cifra las dracmas, se verá que en media hora pasan del corazón a las arterias tres mil dracmas, o dos mil, o quizá quinientas onzas, o una proporción semejante de sangre, siempre una cantidad mayor de la que puede hallarse en todo el cuerpo. De un modo semejante, en la oveja, o en el perro, pasa —supongamos— un escrúpulo [medida inglesa equivalente a 1,18 gramos] en cada contracción del corazón; en media hora, por lo tanto, mil escrúpulos, o sea, cerca de tres libras y media [una libra (inglesa) = 453,6 gramos] de sangre, siendo así que el cuerpo no contiene, en la mayoría de los casos, más de tres libras y media de sangre (esto lo he experimentado en la oveja).

Y así, haciendo el cálculo según la cantidad de sangre transmitida, que podemos conjeturar de modo seguro, y contando las pulsaciones, parecería que toda la cantidad de la masa sanguínea pasa en media hora de las venas a las arterias a través del corazón y, del mismo modo, a través de los pulmones.

Supongamos que esto no ocurre en media hora, sino en una hora o en un día. En todo caso, resulta manifiesto que el corazón transmite continuamente, mediante su pulsación, más sangre de la que puede suministrar el alimento ingerido o de la que las venas contienen a la vez.

Y no se ha de decir que el corazón en su contracción una vez arroja sangre y otras no, por así decirlo, nada o algo imaginario; esto ya se ha refutado y, además, es contrario a los sentidos y a la razón. En efecto, si al dilatarse el corazón se llenan necesariamente de sangre los ventrículos, al contraerse la arrojan necesariamente, y en no pequeña cantidad, ya que su capacidad no es poca, y la contracción no es pequeña. Sea cual sea la proporción en que se contrae el corazón, por ejemplo, en una tercera, en una sexta o en una octava parte, la sangre excluida debe estar respecto de la contenida anteriormente por el corazón en su dilatación, en la misma proporción en que está la capacidad del ventrículo contraído respecto de la del dilatado; y de la misma manera que en la dilatación no es posible que el contenido sea nulo o imaginario, así en la contracción, lo que expulsa no es nunca nulo o imaginario, sino

siempre cierta cantidad proporcional a la contracción. Por tanto, se ha de concluir que si en una pulsación en el hombre, la oveja o el buey, el corazón emite una dracma de sangre y hay mil pulsaciones en media hora, se transmiten en ese tiempo mil libras y cinco onzas; si en una pulsación emite dos dracmas, veinte libras y diez onzas; si emite media onza, cuarenta y una libras y ocho onzas, y si una onza, pasan de las venas a las arterias en media hora ochenta y tres libras y cuatro onzas. Qué cantidad es expulsada en cada pulsación, cuándo se expulsa más y cuándo menos, y por qué causa, son cuestiones que podré quizás exponer con más exactitud más adelante, fundándome en múltiples observaciones.

Mientras tanto, me consta, y quiero advertirlo a todos, que unas veces la sangre pasa en mayor cantidad que otras, y que el circuito de la sangre se efectúa unas veces con más rapidez y otras con menos, según el temperamento, la edad, las causas externas e internas y circunstancias naturales y no naturales, como el sueño, el reposo, la comida, los ejercicios, las afecciones del ánimo y otras semejantes. Pero lo que es cierto es que, aun cuando pase por los pulmones y el corazón la mínima cantidad posible de sangre, llega a las arterias y a todo el cuerpo en abundancia mucho mayor de la que puede suministrar el alimento ingerido, o cualquier otro medio que no sea el regreso en circuito.

Esto se pone de manifiesto también por los sentidos, observando la disección de animales vivos. No sólo si se abre la arteria magna, sino (como lo demuestra Galeno en el propio hombre) si se corta cualquier arteria, aun la más pequeña, en el espacio de media hora aproximadamente habrá salido la masa total de la sangre de todo el cuerpo, tanto de las venas como de las arterias. De un modo semejante pueden atestiguarlo todos los carniceros que, cortando las arterias yugulares al matar un buey, extraen la masa total de la sangre de todo el cuerpo en menos de un cuarto de hora, dejando todos los vasos vacíos. Lo mismo hallamos que ocurre al poco tiempo de la escisión de miembros y tumores a consecuencia de la abundante profusión de sangre.

Y no limita la fuerza de este argumento el que alguno diga que en la yugulación y en la escisión de los miembros la sangre se escapa por las venas igual, si no más, que por las arterias, puesto que lo que sucede es lo contrario. En efecto, las venas, por aplastarse, porque en ellas no hay fuerza que obligue a la sangre a salir y por servir de impedimento la posición de las válvulas (como después se pondrá de manifiesto), dan poca sangre; en cambio, las arterias vierten con más abundancia la sangre que ha penetrado en ellas impetuosamente, arrojándola como un sifón. La cosa puede además experimentarse dejando la vena y cortando la arteria yugular en una oveja o en un perro, y parecerán asombrosos el ímpetu, la violencia y la rapidez con que se vacía la sangre de todo el cuerpo, tanto de las venas como de las arterias. Por otra parte, las arterias no reciben la sangre de las venas sino a través del corazón, como es evidente por lo que se ha dicho anteriormente, pero ade-

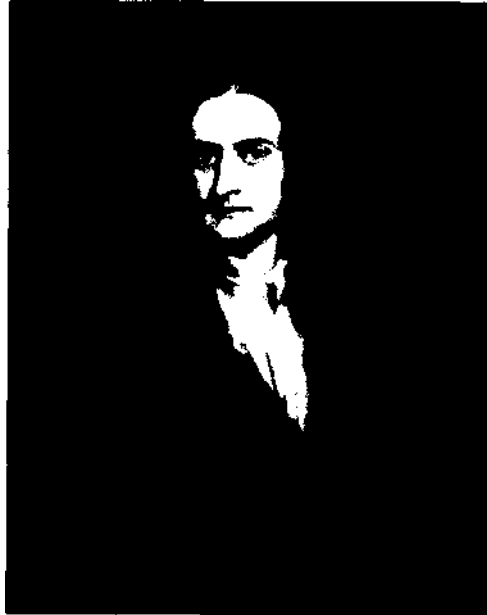
más no será posible dudar de ello si, ligando la aorta junto a la raíz del corazón y abriendo la arteria yugular u otra, se observa que sólo las arterias se vacían, mientras las venas quedan repletas.

Ahora podrá comprenderse la causa de que en la disección se encuentre tanta sangre en las venas y poca, por el contrario, en las arterias; de que se halle mucha en el ventrículo derecho y poca en el izquierdo (siendo quizás esto lo que hizo dudar a los antiguos y creer que aquellas cavidades no contenían más que espíritus). La razón de ello es, sin duda, que por ninguna parte pasa la sangre de las venas a las arterias sino a través del corazón y de los pulmones, y cuando el animal ha expirado y los pulmones han dejado de moverse, la sangre no puede pasar de las ramificaciones de la vena arteriosa a la arteria venosa y de allí al ventrículo izquierdo del corazón (de la misma manera que se notó antes que no podía hacerlo en el embrión por falta de los movimientos del pulmón que abren y cierran los orificios y las porosidades ciegas e invisibles); pero como el corazón no deja de moverse cuando los pulmones, sino que sigue después pulsando y los sobrevive, ocurre que el ventrículo izquierdo y las arterias emiten la sangre a las venas para todo el cuerpo y no la reciben por los pulmones, y por eso están casi vacías. Esto viene a abonar en una pequeña medida nuestra tesis, ya que no puede aducirse otra causa de este hecho que la que nosotros afirmamos en virtud de nuestra hipótesis.

De aquí resulta evidente también que cuanto más y con más vehemencia pulsán las arterias, tanto más rápidamente se vacía el cuerpo en las hemorragias. De aquí también que se calmen y suspendan las hemorragias en las lipotimias, los tumores y afecciones semejantes por latir el corazón más lánguida y tímidamente, sin impulso alguno. De aquí también que, si se abren las venas o arterias yugulares o crurales una vez muerto el cuerpo, cuando el corazón ha dejado de latir, no se podrá conseguir a costa de ningún esfuerzo que salga más de la mitad de la masa sanguínea. Tampoco el carnicero podrá sacar toda la sangre del buey si después de darle el golpe en la cabeza y dejarlo sin sentido no lo degüella, antes de que el corazón deje de latir. Y, por fin, partiendo de aquí puede sospecharse dónde está y cómo es la anastomosis de las venas y las arterias, y por qué causa nadie ha dicho hasta ahora nada acertado sobre ella. Yo me encuentro ya en esa investigación.»

WILLIAM HARVEY (Folkestone, 1578- Londres o Rochampton, 1657). Estudió medicina en Cambridge. Tras graduarse en 1597, se trasladó a Padua, donde trabajó con Girolamo Fabrizio, con quien se inició en el estudio de las funciones del corazón. Gracias a estas investigaciones pudo escribir en una fecha tan temprana como 1603: «El movimiento de la sangre tiene lugar constantemente en forma circular y es el resultado de los latidos del corazón.» En 1602 comenzó a ejercer la profesión médica en Londres, siendo elegido miembro (*fellow*) del Royal College of Physicians en 1607; dos años más tarde fue designado médico en el Hospital St. Bartholomew, y en 1615 *ledurer* del College of Physicians. En 1618 pasó a formar parte del entorno del rey Jacobo I, como médico extraordinario, puesto que conservó después de la llegada al trono, en 1625, de su sucesor Carlos I.

12. El último de los antiguos y el primero de los modernos: Newton



El grande entre los grandes. Isaac Newton representa la excelencia científica en grado sumo. En mi opinión, los registros históricos no han dejado huella de que haya existido hasta la fecha una mente más poderosa, más original, tenaz y capaz a la hora de escudriñar la naturaleza con fines científicos; a la hora, en definitiva, de encontrar sistemas lógico-deductivos que permitan representar de manera satisfactoria el funcionamiento del cosmos.

Pero Newton fue también hijo de su tiempo, un tiempo que todavía no se había liberado completamente de la manera mitológico-religiosa de contemplar la naturaleza que caracterizó a los «antiguos». Es por esto que el célebre economista inglés (y experto en cuestiones newtonianas) John Maynard Keynes se refirió a él como «el último de los magos, el último de los babilonios y de los sumerios; la última de las grandes mentes que contempló el mundo visible e intelectual con los mismos ojos de aquellos

que empezaron a construir nuestra *heredad* intelectual, hace casi diez mil años». Y es que Newton ocupó una parte muy importante de su tiempo no en investigaciones físicas o matemáticas, sino en otras centradas en teología o cronología de los reinos antiguos. Es en este sentido que me refiero a él, corrigiendo algo a Keynes, como «el último de los antiguos y el primero de los modernos».

En el plano científico, hay que hacer referencia, por supuesto, a su obra magna, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687), seguramente el tratado científico más influyente jamás escrito. En él, Newton desarrolló un sistema dinámico basado en tres leyes del movimiento, leyes que, a pesar de que hoy sabemos —desde que Albert Einstein formuló en 1905 la teoría especial de la relatividad— que no son completamente exactas, constituyen el fundamento de la inmensa mayoría de los instrumentos o artilugios móviles de que disponemos (incluyendo las sondas espaciales que investigan el espacio profundo). Jamás reglas de una teoría científica han influido más en la humanidad que estas tres leyes newtonianas (de Newton, aunque también de otros, como Galileo y Descartes, a quienes se debe versiones de las dos primeras). En este sentido, y a pesar de su aridez, no pueden faltar en una antología científica, no, al menos, en la mía. Las reproduzco a continuación, tal y como aparecen en los *Principia*.

Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (1687) (Principios matemáticos de la filosofía natural)

«AXIOMAS O LEYES DEL MOVIMIENTO

Ley I

Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo a no ser en tanto que sea obligado por fuerzas impresas a cambiar su estado.

Los proyectiles perseveran en sus movimientos a no ser en cuanto son retardados por la resistencia del aire y son empujados hacia abajo por la gravedad. Una rueda, cuyas partes en cohesión continuamente se retraen de los movimientos rectilíneos, no cesa de dar vueltas sino en tanto en que el aire la frena. Los cuerpos más grandes de los cometas y de los planetas conservan por más tiempo sus movimientos, tanto de avance como de rotación, realizados en espacios menos resistentes.

Ley II

El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella fuerza se imprime.

Si una fuerza cualquiera produce un movimiento dado, doblada producirá el doble y triplicada el triple, tanto si se aplica de una sola vez como si se aplica gradual y sucesivamente. Y si el cuerpo se movía antes, este movimiento (dirigido siempre en la misma dirección que la fuerza motriz) o bien se añade sumándose al movimiento anterior, o se resta si es contrario, o se añade oblicuamente, si es oblicuo, y se compone con él según ambas determinaciones.

Ley III

Con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria. O sea, las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en direcciones opuestas.

El que empuja o atrae a otro es empujado o atraído por el otro en la misma medida. Si alguien oprime una piedra con el dedo, también su dedo es oprimido por la piedra. Si un caballo arrastra una piedra atada con una soga, el caballo es retroarrastrado (por así decirlo) igualmente, pues la soga estirada en ambas direcciones y con el propio impulso de contraerse tirará del caballo hacia la piedra y de la piedra hacia el caballo y tanto se opondrá al progreso de uno cuanto ayude al avance del otro. Si un cuerpo cualquiera golpeando sobre otro cuerpo cambiara el movimiento de éste de algún modo con su propia fuerza, él mismo a la vez sufrirá el mismo cambio en su propio movimiento y en sentido contrario por la fuerza del otro cuerpo (por la igualdad de la presión mutua). A tales acciones son iguales los cambios de movimientos, no de velocidades, y siempre que se trate de cuerpos no fijados por otra parte. Análogamente los cambios de velocidad en sentido contrario son inversamente proporcionales a los cuerpos, puesto que los movimientos cambian igualmente. Se cumple esta ley también para las atracciones como se comprobará en un escolio próximo.»

Pero los *Principia* contienen otra joya suprema: la ley de la gravitación universal, que permitió contemplar como manifestaciones de un mismo fenómeno la caída de graves en la superficie terrestre y los movimientos de los planetas. Esta ley no hace su aparición en los *Principia* hasta el libro tercero, *Sobre el sistema del mundo*; más concretamente, y tras una elaborada gestación, en la «Proposición VII Teorema VII» y sus dos Corolarios. Nunca volvería la humanidad a mirar el Universo de la manera en que lo había hecho hasta entonces. He aquí como aparece esa proposición en los *Principia*:

«PROPOSICIÓN VII. TEOREMA VII

La gravedad ocurre en todos los cuerpos y es proporcional a la cantidad de materia existente en cada uno.

Hemos probado ya que todos los planetas gravitan entre sí, y también que la gravedad hacia cada uno de ellos considerado individualmente es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde cada lugar al centro del planeta. De lo cual se sigue que (por la Proposición LXIX del Libro I y sus Corolarios) la gravedad hacia todos es proporcional a la materia existente en ellos.

Por lo demás, dado que todas las partes de un planeta A gravitan hacia otro planeta B, y la gravedad de una parte cualquiera es a la gravedad del todo como la materia de la parte a la materia del todo, y puesto que a toda acción corresponde igual reacción (por la tercera Ley del movimiento), el planeta B gravitará a la inversa hacia todas las partes del planeta A, y su gravedad hacia cada parte será a su gravedad hacia el todo como la materia de la parte a la materia del todo Q.E.D.

COROLARIO 1. Por consiguiente, la gravedad hacia todo planeta surge y se compone de la gravedad hacia cada parte. De lo cual tenemos ejemplos en las atracciones magnéticas y eléctricas. Pues la atracción entera hacia el todo surge de las atracciones hacia cada parte. Para la gravedad esto se entenderá imaginando que muchos planetas menores se reúnen en un globo y constituyen uno mayor. Pues la fuerza del todo deberá originarse de las fuerzas de las partes componentes. Si alguien objeta que todos los cuerpos que nos rodean deberían gravitar entre sí según esta ley, mientras que no percibimos en absoluto una gravedad de este estilo, debo responder que la gravedad en estos cuerpos al ser respecto a la gravedad de toda la Tierra como son estos cuerpos al cuerpo de la Tierra entera, es bastante menor que la que es observable.

COROLARIO 2. La gravitación hacia cada partícula igual de un cuerpo es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de los lugares a las partículas. Es evidente por el Corolario 3 de la Proposición LXXIV del Libro I.»

Acabamos de ver las vigas maestras del sistema newtoniano del mundo, pero queda un punto esencial que comentar: ¿Cómo se relacionaban entre sí los cuerpos, las partículas, sometidas al imperio de las leyes y fuerzas diseñadas por Newton? La respuesta que se da en los *Principia* es la siguiente: mediante fuerzas «a distancia»; esto es, fuerzas que no necesitan ningún soporte (o medio) para ir de un cuerpo a otro. No es preciso elaborar mucho para darse cuenta que se trata de una idea francamente contraintuitiva. Pero funcionaba. Y Newton era lo suficientemente buen científico como para renunciar a un instrumento conceptual que mostraba un gran valor predictivo, o, lo que es lo mismo, científico. Otra cosa es lo que él pensase, sin poder demostrar. Y qué pensaba acerca de esas

misteriosas fuerzas a distancia, es algo que sabemos a través de una carta que envió el 25 de febrero de 1693 a Richard Bentley, que intervino en la preparación de la segunda edición de los *Principia*:

«Es inconcebible que la materia bruta inanimada opere y afecte (sin la mediación de otra cosa que no sea material) sobre otra materia sin contacto mutuo, como debe ser si la gravitación en el sentido de Epicuro es esencial e inherente a ella. Y esta es la razón por la que deseo que no me adscriba la gravedad innata. Que la gravedad sea innata, inherente y esencial a la materia de forma que un cuerpo pueda actuar a distancia a través de un vacío sin la mediación de otra cosa con la cual su acción o fuerza puede ser transmitida de [un lugar] a otro, es para mí una absurdidad tan grande que no creo que pueda caer en ella ninguna persona con facultades competentes de pensamiento en asuntos filosóficos. La gravedad debe ser producida por un agente que actúe constantemente según ciertas leyes, pero si este agente es material o inmaterial es una cuestión que he dejado a la consideración de mis lectores.»

Le repugnaban las acciones a distancia, y en consecuencia seguramente no estaba tan satisfecho con la existencia del vacío como lo había estado Lucrecio, que, como ya hemos visto, se refirió a problemas básicamente muy parecidos.

Señalé antes que Newton dedicó una gran parte de su tiempo a estudios histórico-teológicos. Lo que realmente deseaba entender y descubrir era cómo había diseñado Dios el mundo, lo que había previsto para su evolución, e incluso el papel que desempeñaba en su mantenimiento. Acaso, en algún momento, Newton pensase que esta era la tarea realmente apropiada para su genio. Es cierto que no pudo presumir, como su tan admirado Ezequiel, de que un ángel le había visitado para decirle: «Hijo de hombre, mira bien, escucha atentamente y presta atención a todo lo que te voy a mostrar, porque has sido traído aquí para que yo te lo muestre.» Pero en su ambición suprema, quiso alcanzar, mediante el incomparable instrumento de su inteligencia (probablemente lo más próximo a divino que se pueda encontrar en este terrenal mundo), el conocimiento que — según las Sagradas Escrituras— los ángeles habían ofrecido, gratuitamente, a los profetas. En la soledad de sus habitaciones, luchando con manuscritos oscuros y complejos, aquel Isaac —para mí mucho más grande que el bíblico— debió de tronar con frecuencia, indignado, contra semejante injusticia. ¿Por qué se le negaba a él lo que otros tan fácilmente habían logrado? Su vida, sus millones de palabras escritas —y las muchísimas más

que leyó—, las horas, los días, meses y años inacabables en los que pugló por comprender los mensajes divinos, no son sino testimonio de cuánto se rebeló y cuánto deseó.

La mayor parte de esos millones de palabras no llegarían nunca a ver la luz pública (entre otros motivos porque Newton fue lo que entonces se consideraba un hereje, un arriano, que creía, frente a los trinitarios, que Dios era único y no trino). Pero en alguna ocasión afloraron. Incluso en los *Principia*. Cuando se analiza el contenido de este libro nos encontramos con algún rastro. Dos, de hecho. El primero es una referencia, breve y no demasiado afortunada, a Dios en el libro tercero de la primera edición, en el Corolario 5 a la «Proposición VIII. Teorema VIII». Se lee allí: «Por tanto Dios situó los planetas a diferentes distancias del Sol para que cada uno, según el grado de densidad, disfrutase de un grado mayor o menor de calor solar.» Sin embargo, en la segunda edición se eliminó este comentario.

Como si tratase de compensar esa pérdida teológica en los *Principia*, en la segunda edición —publicada en 1713, cuando tenía setenta y un años—, Newton decidió cerrar su gran monografía con unas páginas dedicadas a la divinidad. Se trata del célebre «Escolio General», en el que Isaac pretendía poco menos que definir a Dios, para él topoderoso y absolutamente dominante. He aquí algunos fragmentos:

«Los seis planetas principales giran en torno al Sol en círculos concéntricos a él, con la misma dirección de movimiento y aproximadamente en el mismo plano. Diez lunas en torno a la Tierra, Júpiter y Saturno en círculos concéntricos, con la misma dirección de movimiento, en los planos de las órbitas de los planetas muy aproximadamente. Y todos estos movimientos regulares no tienen un origen debido a causas mecánicas, toda vez que los cometas circulan en órbitas muy excéntricas libremente y en todas direcciones del firmamento. Con este tipo de movimiento los cometas pasan rápida y fácilmente por las órbitas de los planetas, y en sus afelios, cuando sus movimientos son más lentos y se detienen por más tiempo, distan entre ellos inmensamente, para que sea mínima la atracción mutua. Tan elegante combinación de Sol, planetas y cometas sólo pudo tener origen en la inteligencia y poder de un ente inteligente y poderoso. Y si las estrellas fijas fueren centros de sistemas semejantes, todos ellos contruidos con un esquema similar, estarán sometidos al dominio de *Uno*: sobre todo si la luz de las fijas es de la misma naturaleza que la luz del Sol y todos los sistemas emiten luz hacia todos mutuamente. Y para que los sistemas de las fijas no caigan por la gravedad uno sobre otro, él los habría colocado a inmensas distancias uno de otro.

Él lo rige todo, no como alma del mundo, sino como dueño de todos. Y por su dominio, suele ser llamado señor dios Emperador universal. Pues dios es una palabra relativa y está en relación con los siervos: y deidad es la dominación de dios, no sobre su propio cuerpo, como creen aquellos para quienes dios es el alma del mundo, sino sobre los siervos. Dios sumo es un ente eterno, infinito, absolutamente perfecto: pero un ente cualquiera perfecto sin dominio no es dios señor. Pues decimos, dios mío, dios vuestro, dios de Israel, dios de dioses, y señor de señores; pero no decimos eterno mío, eterno vuestro, eterno de Israel, eterno de dioses; no decimos infinito mío, o perfecto mío. Estas denominaciones no tienen relación con los siervos. La voz dios significa con frecuencia dueño: pero todo dueño no es dios. La dominación de un ente espiritual constituye un dios, la verdadera al verdadero, la suma al sumo, la ficticia al ficticio. Y de la verdadera dominación se sigue que un dios verdadero es vivo, inteligente y poderoso; de las demás perfecciones que es sumo o sumamente perfecto. Es eterno e infinito, omnipotente y omnisciente, es decir, dura desde la eternidad hasta la eternidad y está presente desde el principio hasta el infinito: lo rige todo, lo conoce todo, lo que sucede y lo que puede suceder. No es la eternidad y la infinitud, sino eterno e infinito; no es la duración y el espacio, sino que dura y está presente. Dura siempre y está presente en todo lugar, y existiendo siempre y en todo lugar, constituye la duración y al espacio... Dios es uno y el mismo dios siempre y en todo lugar. Es omnipotente no sólo *virtualmente* sino *sustancialmente*... Está reconocido que un dios sumo existe necesariamente y con la misma necesidad existe *siempre* y en *todo lugar*. De donde también es todo él semejante a sí mismo, todo ojo, todo oído, todo cerebro, todo brazo, todo fuerza de sentir, todo entender, de actuar, pero en modo alguno a la manera humana, o a la manera corporal, sino de una manera totalmente desconocida para nosotros. Como el ciego no tiene idea de los colores, de igual modo nosotros no tenemos idea de los modos con los que dios sapientísimo siente y entiende todas las cosas. Absolutamente desprovisto de todo cuerpo y figura corporal, no puede por ello ser visto, ni oído, ni tocado, ni debe ser venerado bajo forma de cosa corpórea alguna.»

ISAAC NEWTON (Woolsthorpe, Lincolnshire, 1642- Londres, 1727). Estudió en el Trinity College de Cambridge, obteniendo allí el título de *Bachelor of Arts* en 1665. A la edad de 26 años fue designado para ocupar la cátedra Lucasiana de Matemáticas de su *alma máter*, como sucesor de Isaac Barrow. Permaneció a orillas del Cam casi treinta años, trabajando día y noche. Allí completó su gran libro, *Principios matemáticos de la filosofía natural* (1687). En 1696 fue nombrado *warden* de la Casa de la Moneda inglesa (*Mint*) y en 1700, *master*. En 1703 fue elegido presidente de la Royal Society, un año antes de que apareciera otro de sus grandes libros: la *Óptica*. Fue enterrado en la abadía de Westminster.

13. La última esperanza de la metafísica: Leibniz



Gottfried Wilhelm Leibniz fue otro de esos espíritus universales que nos ha deparado la historia. Sus contribuciones fecundaron disciplinas tan variadas como la matemática, la lógica, la física, numerosas ramas de la filosofía (la metafísica, muy en especial) y la historia. En aquellos tiempos de los siglos XVII y XVIII, en los que las enemistades por prioridades y puntos de vista diferentes podían ser profundas y duraderas, los desencuentros entre Leibniz y Newton fueron frecuentes y conocidos: la disputa que mantuvieron por la prioridad en la invención del cálculo infinitesimal es la más famosa (la presa reclamada no era, ciertamente, menor). Pero, como digo, fueron varias sus disputas, y una de ellas tuvo que ver con la naturaleza del espacio, el tiempo y el mundo, y el papel que Dios desempeñaba en éste. Newton, con el magnífico soporte que le proporcionaba los *Principia*, y de acuerdo con sus ideas teológicas, defendía el carácter absoluto del espacio y el tiempo, algo así

como receptáculo y cronómetro, respectivamente, universales e inmutables que no necesitaban, en última instancia, ni de la existencia ni del movimiento de cuerpos, mientras que Leibniz pensaba justamente lo contrario: que se debían entender como sistemas de relaciones. Consideraciones teológicas aparte, la munición que se empleaba en aquella batalla era muy diferente: Newton con su física, Leibniz con su metafísica, con principios filosóficos como el de la razón suficiente. Y la física ganó a la metafísica, Newton a Leibniz. Durante mucho tiempo, espacio y tiempo se entendieron como entes absolutos. Hasta que llegó Albert Einstein con sus dos teorías de la relatividad, la especial y la general, aunque los caminos que este científico siguió no fueron «metafísicos». Finalmente, Leibniz había sido, en algún sentido (en otros no, por supuesto), el más «moderno». ¿Qué habría sucedido, uno se siente tentado de preguntarse, si Leibniz no se hubiera encontrado frente a un contrincante tan descomunal como Newton y su física? ¿Habría progresado un modo de investigar la naturaleza basado en buena medida en principios metafísicos? Yo creo que no, que el camino newtoniano fue el mejor, independientemente de que coexistiesen en él elementos primitivos, pero nunca se sabe. Y aquí he querido mostrar algo de las opiniones, esfuerzos y procedimientos de Leibniz, tal y como aparecen en una carta que escribió el 25 de febrero de 1716 al obispo anglicano Samuel Clarke, que representaba las opiniones de Newton (era un portavoz autorizado: el autor de los *Principia* le había encargado la traducción al latín de la *Óptica*, que apareció en esta lengua en 1706). La carta forma parte de una correspondencia que ambos mantuvieron, a instancias de la princesa Carolina de Ansbach, esposa del príncipe de Gales y Elector de Hannover (que reinó en Gran Bretaña con el nombre de Jorge II), entre 1715 y 1716, y que terminó con la muerte de Leibniz.

G. W. Leibniz a S. Clarke, 25 de febrero de 1716

«1. Según la forma de hablar corriente, los principios matemáticos son aquellos que aparecen en las matemáticas puras, como números, figuras, aritmética, geometría. Pero los principios metafísicos abarcan nociones más generales, como, por ejemplo, la causa y el efecto.

2. Se me acepta ese principio importante, que nada ocurre sin que exista una razón suficiente por la que sea así más bien que de otro modo. Pero se me acepta sólo de palabra, y se me niega de hecho. Lo que hace pensar que no han comprendido bien toda su fuerza. Y para

eso se valen de un ejemplo que cae justamente bajo una de mis demostraciones contra el espacio real absoluto, ídolo de algunos ingleses modernos. Digo ídolo, no en sentido teológico, sino filosófico, como el canciller Bacon decía antaño que hay "idola tribus", "idola specus".

3. Estos señores sostienen que el espacio es un ser real absoluto, pero eso los lleva a grandes dificultades. Pues parece que esta entidad debe ser eterna e infinita. Por esto hay quienes han creído que era el mismo Dios, o bien un atributo suyo, su inmensidad. Pero como tiene partes, no es una cosa que pueda convenir a Dios.

4. En cuanto a mí, he señalado más de una vez que consideraba el espacio como una cosa puramente relativa, al igual que el tiempo; como un orden de coexistencias, mientras que el tiempo es un orden de sucesiones. Pues el espacio señala en términos de posibilidad un orden de las cosas que existen al mismo tiempo, en tanto que existen conjuntamente, sin entrar en sus peculiares maneras de existir; y en cuanto vemos varias cosas juntas, nos damos cuenta de este orden de cosas entre ellas.

5. Para refutar la imaginación de los que tengan el espacio por una sustancia, o al menos por algún ser absoluto, dispongo de varias demostraciones. Pero no quiero utilizar por el momento sino aquella de la que se me ofrece aquí la ocasión. Digo entonces que si el espacio es un ser absoluto, entonces se daría alguna cosa de la cual sería imposible que hubiera una razón suficiente, lo que va contra nuestro axioma. He aquí cómo lo pruebo. El espacio es una cosa absolutamente uniforme y, sin las cosas en él colocadas, un punto del espacio no difiere absolutamente en nada de otro punto del espacio. De lo que se sigue, suponiendo que el espacio en sí mismo sea algo distinto del orden de los cuerpos entre sí, que es imposible que haya una razón por la que Dios, conservando las mismas situaciones de los cuerpos entre ellos, haya colocado los cuerpos en el espacio así y no de otra manera, y por la que no haya sido todo puesto al revés (por ejemplo) por un cambio de oriente y de occidente. Pero si el espacio no es otra cosa que ese orden o producto, y no es nada sin los cuerpos más que la posibilidad de colocar en él esos dos estados, uno tal como es, el otro supuesto al revés, éstos no diferirían entre sí: su diferencia no se encuentra más que en nuestra suposición quimérica de la realidad del espacio en sí mismo. Pero, en la realidad, uno sería justamente la misma cosa que el otro, ya que son absolutamente indiscernibles y, por consiguiente, no hay lugar para preguntar la razón de la preferencia del uno sobre el otro.

6. Esto mismo pasa con el tiempo. Suponiendo que alguien pregunte por qué Dios no ha creado todo un año antes, y que ese mismo personaje quiera deducir de ahí que Dios ha hecho algo de lo cual no es posible que haya una razón de por qué lo ha hecho así más bien que de otra manera, se le respondería que su razonamiento sería verdadero si el tiempo fuera algo fuera de las cosas temporales, pues sería imposible

que a finales del siglo la comunicación con el continente europeo era constante y regular. Así, la correspondencia entre los científicos, que constituyó —aparte de los viajes individuales y la lectura de libros— el único medio de comunicación científica a principios del siglo XVII, se vio facilitada por las mejoras en el servicio postal. La voluminosa correspondencia de «informadores» y científicos como Mersenne, Collins, Wallis, Boyle, Huygens y Oldenburg da testimonio de este hecho.

Otro medio de comunicación y difusión, desarrollado durante la Revolución científica, fueron las revistas, como las *Philosophical Transactions* de la Royal Society inglesa, cuyo primer número apareció en marzo de 1665, o las *Acta Eruditorum* (1682) y el *Nouvel Journal des Scavans* (1698), donde se publicaron descripciones de muchas de las principales investigaciones de la época.

Como muestra de este nuevo mundo que se abrió entonces, he seleccionado el texto del editorial del primer número de las *Philosophical Transactions* (6 de marzo de 1665); seguramente fue escrito por Henry Oldenburg, el eficaz secretario de la Sociedad:

«Dado que para fomentar el progreso en las cuestiones filosóficas no hay nada mejor que la comunicación de todo cuanto se descubra o ponga en práctica a cuantos dedican a las mismas sus estudios y sus esfuerzos, parece lógico servirse de la imprenta como procedimiento idóneo para complacerles, puesto que su entrega a tales estudios y su pasión por el progreso del saber y las invenciones útiles les hace merecedores de conocer los frutos de cuanto en este reino y en otras partes del mundo se produce, así como del progreso de los estudios, trabajos y ensayos que en estas materias realizan hombres doctos y curiosos, por no hablar ya de sus éxitos y descubrimientos: a fin de que tales logros puedan comunicarse de forma clara y fidedigna, y de cara a la consecución de un conocimiento más seguro y útil, cualquier esfuerzo e iniciativa serán bien recibidos, al tiempo que se invita y alienta a aquéllos que estudian y discuten estas cuestiones a que examinen, investiguen y descubran nuevas cosas, a que se transmitan unos a otros los conocimientos y a que contribuyan en la medida de sus posibilidades a la gran empresa del desarrollo del conocimiento natural y del perfeccionamiento de todas las disciplinas filosóficas. Todo ello por la gloria de Dios, el honor y el progreso de los reinos y el bienestar de toda la humanidad.»

15. La primera transfusión de sangre: Lower



La creencia de que tomando sangre de otra persona se podía recuperar la juventud es muy antigua. En 1492 cuando el papa Inocencio VIII se encontraba muy débil (en coma, seguramente) se le suministró la sangre de tres jóvenes, que murieron. No se sabe cómo se le administró aquella sangre, pero probablemente fue por la boca.

Tras el descubrimiento de Harvey de la circulación de la sangre, se suscitó la posibilidad —y el efecto que produciría— de transferir directamente sangre de un donante a un receptor, posibilidad que fue investigada en Francia e Inglaterra. Por lo que sabemos, la primera transfusión a un humano realizada en Inglaterra tuvo lugar el 23 de noviembre de 1667, bajo el patrocinio de la Royal Society. Fue esta institución la que intentó encontrar algún «loco del hospital de Bedlam» para llevar a cabo el experimento, pero el director de ese centro se negó. La elección recayó entonces en Arthur Coga, un «imprevisible y extravagante» graduado

en teología por Cambridge, al que, siendo indigente, se persuadió para que se presentase voluntario, a cambio del pago de una guinea.

La transfusión la realizaron dos médicos, miembros de la Royal Society: Richard Lower y Edmund King. De los dos, fue Lower el más activo en estas investigaciones (King era médico del rey Carlos II). Considerado como el fisiólogo británico más importante del siglo XVII, después de Harvey (de quien fue el más brillante seguidor), Lower había realizado con éxito, en febrero de 1665 y en Oxford, el primer experimento de transfusión de sangre entre dos perros, experimento que apareció descrito en las *Philosophical Transactions* en diciembre de 1666.

También apareció en esta revista (en el número 30, correspondiente al 9 de diciembre de 1667) la descripción de la citada transfusión de sangre a Arthur Coga efectuada en noviembre de 1667. Esta descripción es, como resulta patente, de un carácter eminentemente empírico, descriptivo. Pertenece, no hay que olvidarlo, a una época en la que una de las tareas más importantes era, simplemente, registrar lo que se observaba en la naturaleza, y explorar lo que sucedía cuando se manipulaba esa naturaleza, o, los entes, orgánicos al igual que inorgánicos, que existían en ella. Sistemas teóricos como los de los *Principia* de Newton eran muy raros. Esta transfusión representa, sin embargo, un momento máximo de atrevimiento y deseos de explorar la naturaleza, de hacer avanzar la ciencia. Por eso, y a pesar de que ni Lower ni King se puedan comparar con otros de los protagonistas de este libro, he escogido este episodio como uno de los hitos de la historia de la ciencia.

«An account of the experiment of transfusión,
practised upon a man in London»
[«Una descripción del experimento de transfusión
practicado en un hombre en Londres»],
Philosophical Transactions, número 30
(9 de diciembre de 1667)

«Ésta [la transfusión] fue realizada el 23 de noviembre de 1667, a un tal Arthur Coga, en Arundel House, en presencia de muchas personas consideradas e inteligentes, a cargo de esos dos conocedores y diestros médicos anatomistas, doctor Richard Lower y doctor Edmund King, el segundo de los cuales comunicó su desarrollo, en la forma que sigue.

El experimento de transfusión de sangre a una vena humana se llevó a cabo por nosotros de la manera siguiente. Habiendo preparado la arteria carótida en una oveja joven, insertamos una tubería de plata en unos tubitos para que la sangre corriese a través de él hacia una escudilla, y en el tiempo de casi un minuto, alrededor de 12 onzas de la sangre de la oveja pasaron a través del tubo al recipiente, lo que nos iba a dar idea de la cantidad de sangre que debíamos pasar al hombre. Hecho esto, cuando fuimos a preparar la vena en el brazo del hombre, la vena parecía demasiado pequeña para el tubo que queríamos introducir en ella, lo que nos obligó a emplear otro, alrededor de un tercio menor, en el extremo pequeño. A continuación, realizamos una incisión en la vena, según el método publicado con anterioridad (número 28 de las *Philosophical Transactions*), que obedecimos sin ninguna alteración, salvo en la forma de uno de nuestros tubos, que encontramos más conveniente para nuestro propósito. Y, después de haber abierto la vena en el brazo del hombre... dejamos que saliesen unas 6 o 7 onzas de sangre. En ese momento pusimos nuestra tubería de plata en dicha incisión, e insertamos tubitos entre las dos tuberías ya introducidas en los dos seres, para transportar la sangre arterial de la oveja a la vena del hombre. Pero transcurrió un minuto antes de que pasase a través de las tuberías y tubitos al brazo; y entonces corrió libremente por la vena del hombre por espacio de 2 minutos al menos; de forma que pudimos sentir un pulso en dicha vena justo más allá del final de la tubería de plata; aunque el paciente dijo que no había sentido la sangre caliente..., lo que muy bien puede imputarse a la longitud de los tubos, a través de los cuales pasó la sangre, perdiendo así mucho de su calor, para llegar con una temperatura muy agradable a la sangre venosa. Con relación a la sangre que recibió la vena del hombre, juzgamos que fue de unas 9 o 10 onzas...

Después de esta operación, al igual que durante ella, el hombre se encontró muy bien, y ha dado su propia versión con su misma mano, insistiendo más en los beneficios que, según piensa, ha recibido de ella, de lo que nosotros creemos adecuado por el momento. Nos urgió a que repitiésemos el experimento con él 3 o 4 días después, pero se pensó que era más conveniente demorarlo algo más. Y la próxima vez esperamos ser más exactos, especialmente pesando al animal que suministra la sangre, antes y después de la operación, para poseer una idea más justa de la cantidad de sangre que habrá perdido.»

Finalmente, se le realizó una nueva transfusión —esta vez de 14 onzas de sangre de oveja— el 12 de diciembre de 1667. De nuevo, sobrevivió aparentemente sin daño. Sin embargo, en 1668 un paciente del pionero francés en transfusiones, Jean Denis, que enseñaba medicina en Montpellier, murió tras una transfusión, y este hecho puso término a ta-

les experimentos con humanos, hasta que el descubrimiento de los anticuerpos y antígenos en 1900 hizo que tal práctica fuese más segura: en 1905 George Washington Crile realizó la primera transfusión de sangre directa, aunque su empleo no se generalizó hasta la primera guerra mundial.

RICHARD LOWER (Tremeer, Cornualles, 1631- Londres, 1691). Estudió en el Christ Church de Oxford. En 1666 se trasladó a Londres, donde fue discípulo de Thomas Willis, uno de los miembros fundadores de la Royal Society, estableciéndose finalmente como un médico de éxito en la capital británica. Su obra más importante es *Tractatus de corde* (1669).

16. El problema del alma y el cuerpo: Euler



El problema de cómo se generan facultades humanas (y de otros animales) que podemos denominar «espirituales», «conciencia» —conciencia de uno mismo, de percepciones de todo tipo— o, simplemente, pensar y sentir, es seguramente no mucho menos antiguo que la especie *homo sapiens*. ¿Cómo se relacionan movimientos o procesos de índole mecánica que tienen lugar en nuestros cuerpos con pensamientos y sensaciones? Con frecuencia se ha denominado a este problema el de la relación entre «alma» y «cuerpo», un planteamiento éste que conduce inevitablemente a la pregunta de ¿qué queremos decir con la expresión «alma»? , cuestión que, por supuesto, muchos han respondido, y continúan respondiendo, involucrando opiniones religiosas.

El texto que sigue, debido a uno de los matemáticos más importantes de la historia (y seguramente el más prolífico), Leonhard Euler, plantea esta cuestión. La forma en que lo hizo revela claramente las ideas de su

época, en la que la presencia de la idea de Dios poseía una fuerza que en la actualidad se ha amortiguado considerablemente, sin por ello haber desaparecido completamente.

La cita pertenece a una obra que es un auténtico clásico de la literatura científica, *Cartas a una princesa de Alemania sobre algunas cuestiones de física y de filosofía*, en la que se recogen las misivas que Euler envió a la sobrina de Federico el Grande, que deseaba ser instruida por el gran matemático. La relación con esta princesa se produjo durante la estancia de Euler en Berlín, a donde llegó en junio de 1741.

*Lettres á une Princesse d'Allemagne sur quelques
sujets de Physique et de Philosophie (1768, 1772)*
(*Cartas a una princesa de Alemania sobre algunas
cuestiones de física y de filosofía*)

«Carta LXXXI: *De la unión entre el alma y el cuerpo.*

Como espíritus y cuerpos son seres, o sustancias, de una naturaleza totalmente diferente, el mundo contiene, por tanto, dos clases de sustancias, una *espiritual*, y la otra *corporal* o *material*. La estricta unión que existe entre ellas merece una atención muy particular.

Esta unión de alma y cuerpo, es, en todo animal, un fenómeno maravilloso. Se reduce a dos cosas: una, que el alma siente, o percibe, todos los cambios que acontecen a su cuerpo, por medio de los sentidos, que, como usted sabe perfectamente, son cinco en número; a saber: vista, oído, olfato, sabor y tacto. Mediante ellos, por tanto, el alma toma conocimiento de toda cosa que sucede, no sólo en su propio cuerpo, sino fuera de él. Tocando y saboreando, se representa solamente aquellos objetos que están en contacto inmediato con el cuerpo; oliendo, a objetos que se encuentran a distancias pequeñas; oyendo, a aquellos situados a distancias mucho más remotas; mientras que la vista nos permite conocer los objetos más alejados.

Todo este conocimiento se adquiere solamente en tanto que los objetos realizan una impresión en algunos de nuestros sentidos; pero esto todavía no es suficiente: es necesario que el órgano de tal sentido se encuentre en perfecta condición, y que los nervios que pertenecen a él no estén trastornados. Recordará que para ver los objetos deben dibujarse con nitidez en el fondo del ojo, sobre la retina; pero aun así, esta representación no es el objeto del alma; se puede ser ciego, aunque estén definidos perfectamente. La retina es una contextura de nervios, cuya continuación se extiende al cerebro; y si se interrumpe tal continuación

por cualquier daño producido a este nervio, denominado *nervio óptico* no habrá vista, por muy perfecta que sea la representación sobre fe retina.

Ocurre lo mismo con los otros sentidos, todos los cuales operan mediante nervios destinados a transmitir las impresiones producidas en el órgano que se emplea en la sensación, hasta su primer origen en el cerebro. Existe en el cerebro, por consiguiente, cierto lugar en el que terminan todos los nervios; ahí reside el alma, y ahí percibe las impresiones que se efectúan sobre ella mediante los nervios.

De estas impresiones, el alma extrae todo el conocimiento que tiene de las cosas que están fuera de ella; de ahí obtiene sus primeras ideas, y combinando éstas forma juicios, reflexiones, razonamientos, y todo lo necesario para perfeccionar su conocimiento; así es como funciona el alma, sin la participación del cuerpo. Pero la primera impresión le llega de los sentidos a través de los órganos corporales; y la primera facultad del alma es percibir, o sentir, qué pasa en esa parte del cerebro en la que terminan todos los nervios sensibles. Esta facultad se denomina *sensación*; y el alma, casi pasiva, no hace nada, en primera instancia, sino recibir las impresiones que el cuerpo le presenta.

Pero a su vez posee una facultad activa, mediante la cual tiene el poder de influir en su cuerpo, y de producir a su capricho movimientos en él; en esto consiste su poder sobre el cuerpo. Así soy capaz de mover mis manos y mis pies mediante un acto de mi voluntad; y ¿qué movimientos están realizando mis dedos cuando escribo esta carta? Mi alma no puede sin embargo, actuar de manera inmediata sobre ninguno de mis dedos para poner uno solo de ellos en movimiento es necesario que se pongan en acción varios músculos; y esta acción de nuevo se produce por medio de nervios que terminan en el cerebro: si el nervio en cuestión es dañado no podré mover mi dedo por mucho que lo desee: ya no obedecerá las órdenes de mi alma. En consecuencia, el poder de mi alma se extiende solamente a una pequeña parte del cerebro, donde se unen los nervios; las sensaciones son igualmente restringidas a este lugar del cerebro.

El alma, por consiguiente, está unida solamente a estas extremidades de los nervios, sobre los cuales no sólo tiene el poder de actuar, sino que también mediante ellos puede ver, como en un espejo, toda cosa que produce una impresión en los órganos de su cuerpo. ¡Qué maravillosa habilidad ser capaz de deducir, a partir de los pequeños cambios que tienen lugar en las extremidades de los nervios, aquello que los originó fuera del cuerpo!

Un árbol, por ejemplo, produce en la retina, mediante sus rayos una imagen que es perfectamente similar a él; pero ¡qué débil debe de ser la impresión que reciben de él los nervios! Sin embargo, es esta impresión, continuada a lo largo de los nervios hasta su origen, la que excita en el alma la idea de ese árbol. Después, las pequeñísimas impresiones que el alma produce en las extremidades de los nervios son co-

municadas instantáneamente a los músculos, que, puestos en acción, obligan a los miembros que hace mover, a que obedezcan sus órdenes de manera exacta.

Las máquinas que ejecutan ciertos movimientos impulsadas por una cuerda, no presentan sino un tosco mecanismo cuando se las compara con nuestros cuerpos y los cuerpos de los animales. Los productos del Creador sobrepasan infinitamente los resultados de la habilidad humana.

2 de diciembre de 1760.»

LEONHARD EULER (Basilea, 1707- San Petersburgo, 1783). Su padre, un pastor protestante a quien Jakob Bernoulli había instruido en matemáticas, inspiró en él el amor por esta ciencia. Estudió en la Universidad de Basilea, donde recibió lecciones de Johann I Bernoulli, considerado entonces como uno de los primeros matemáticos de Europa. En 1726, recomendado por Nikolaus II y Daniel Bernoulli, Euler fue invitado a servir como adjunto de fisiología en la recién creada (1725) Academia de Ciencias de San Petersburgo. Llegó allí en 1727, e inmediatamente tuvo la oportunidad de dedicarse a sus verdaderos intereses: los matemáticos. En 1741 se trasladó a Berlín, invitado por el emperador Federico el Grande, y en 1744 se convirtió en el director de la Academia de Ciencias de esa ciudad. Permaneció en la capital prusiana hasta 1766, cuando la emperatriz Catalina I le reclamó para que dirigiese la Academia de San Petersburgo. Realizó notables contribuciones a casi todas las ramas clásicas de la matemática: teorías de los números y de las funciones, álgebra, cálculo diferencial e integral, ecuaciones diferenciales, cálculo de variaciones, astronomía e hidrodinámica.

17. Revolución en la química: Lavoisier



La química, otra de las ciencias de la naturaleza básica, tardó en contribuir a la Revolución científica: con anterioridad a 1750, no podía considerarse una disciplina científica independiente. Es **verdad** que poseía cierta —incluso, una larga— tradición (o, mejor, antecedentes), pero sobre todo dentro del campo de la farmacia o de la medicina. Protagonistas destacados que aparecen en los libros de historia de la química como Hermann Boerhaave, Georg Ernst Stahl o Joseph Black **eran** médicos.

A lo largo de las tres primeras cuartas partes del siglo, los químicos ampliaron el número de sustancias objeto de manipulación en el laboratorio, mejoraron los métodos para fabricar muchos productos de interés comercial y lograron manejar e identificar otros «aires» distintos del aire **común** o atmosférico. Sin embargo, durante aquel período no consiguieron crear un sistema teórico basado en el método experimental, ni elabo-

rar un lenguaje metódico y preciso que sirviera de instrumento de comunicación eficaz. La química era, así, una de las ciencias cuyo reflejo en la gran obra de la Ilustración, la *Enciclopedia* (1715-1768), aparecía como menos brillante. El químico G. F. Venel, redactor de la mayoría de las voces químicas, ofrecía en el volumen tercero (1753) una panorámica bastante pesimista del desarrollo alcanzado por la química al coronarse la primera mitad del siglo. Para Venel, el remedio consistía en que llegase un día en el que un buen químico revolucionase esta ciencia y la situase a la altura de las demás: «Esta revolución, digo, no puede ser realizada más que por un químico hábil, entusiasta y atrevido, que al encontrarse en una situación favorable y aprovechar hábilmente algunas circunstancias felices, sepa despertar la atención de los sabios, primero de una manera brillante, con un tono decidido y afirmativo, y después con argumentos si sus primeras armas hubieran atacado el prejuicio.»

Los deseos de Venel no tardarían en cumplirse: Antoine Laurent de Lavoisier, sería el químico «hábil, entusiasta y atrevido».

Entre las numerosas contribuciones que Lavoisier hizo a la química es posible destacar dos: una, su teoría de la combustión y la calcinación, procesos que implicaban la absorción o combinación de un nuevo elemento, o aire, al que denominó oxígeno, y la otra, la forma en que socavó —utilizando poco más que un recipiente de vidrio, agua y una báscula— el antiguo sistema de los cuatro elementos, profundizando, más de un siglo después, la crítica que había realizado Galileo a ese sistema con sus observaciones astronómicas.

Una parte básica de la revolución química asociada al nombre de Lavoisier tuvo que ver con la introducción de una nueva nomenclatura. Hasta entonces, se había dado un nombre arbitrario a las sustancias identificadas; nombres como aceite de vitriolo, crema de tártaro, manteca de antimonio, azafrán de marte, sal amarga, azúcar de saturno, que recordaban más al lenguaje culinario que a una ciencia. La asociación, en 1787, de Lavoisier con L. B. Guyton de Morveau, C. L. Berthollet y A. F. Fourcroy para compilar un *Méthode de nomenclature chimique*, significó un paso decisivo en la racionalización y sistematización de la nomenclatura química.

Para divulgar sus ideas, Lavoisier compuso un *Tratado elemental de química* (1789), de cuya introducción («Discurso preliminar») he seleccionado unos pasajes, en los que se observa el carácter pragmático, alejado de aventuras metafísicas, de Lavoisier.

Traite élémentaire de chimie, présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes (1789)
(*Tratado elemental de química, presentado en un orden nuevo y según los descubrimientos modernos*); del
«Discurso preliminar»

«La imposibilidad de aislar la nomenclatura de la ciencia y la ciencia de la nomenclatura, se debe a que toda ciencia física se forma necesariamente de tres cosas: la serie de hechos que constituyen la ciencia, las ideas que los evocan y las palabras que los expresan. La palabra debe originar la idea, ésta debe pintar el hecho: he aquí tres huellas de un mismo cuño. Y como las palabras son las que conservan y transmiten las ideas, resulta que no se puede perfeccionar la lengua sin perfeccionar la ciencia, ni la ciencia sin la lengua; y por muy ciertos que fuesen los hechos, por muy justas que fuesen las ideas que originasen, sólo transmitirán impresiones falsas si careciésemos de expresiones exactas para nombrarlos.

Aquellos que lean con atención la primera parte de este tratado encontrarán repetidamente comprobadas estas verdades; pero, como me he visto forzado a seguir en él un orden diametralmente distinto al que se ha adoptado hasta el momento en todas las obras de química, manifestaré los motivos que he tenido para ello.

Es un principio constante, cuya generalidad está bien verificada tanto en las matemáticas como en los demás saberes, que para instruirnos debemos pasar siempre de lo conocido a lo desconocido. Durante la primera infancia nuestras ideas proceden de nuestras necesidades, la sensación de éstas origina la idea de los objetos apropiados para satisfacerlos, y por una serie de sensaciones, observaciones y análisis, se genera de forma insensible una sucesión de ideas ligadas entre sí, donde un observador atento puede, hasta cierto punto, encontrar el hilo y encadenamiento, que constituyen el conjunto de nuestro saber.

Cuando nos disponemos por primera vez a realizar el estudio de una ciencia, nos encontramos con relación a ella, en un estado muy similar a aquél en que se hallan los niños, y el camino que debemos seguir es precisamente el que sigue la naturaleza en la formación de sus ideas. Así como en el niño la idea es un efecto de la sensación, y es ésta quien produce la idea, de la misma forma así para aquel que se dispone a iniciar el estudio de las ciencias físicas, las ideas no deben ser más que una consecuencia, el resultado inmediato de una experiencia o una observación.

Séame permitido añadir que la situación del que entra en la carrera de las ciencias es menos ventajosa que la del niño que adquiere sus primeras ideas; si éste se engaña respecto a los efectos saludables o nocivos de los objetos que le rodean, la naturaleza le suministra multiplicados medios para rectificar. Cualquier juicio que forme se ve a cada instante

corregido por la experiencia. La privación o el dolor suceden a un juicio falso; la alegría y el placer a un juicio adecuado. No se tarda con tales maestros en llegar a ser consecuentes, y pronto se razona de forma justa cuando no puede hacerse de otro modo bajo pena de privación o sufrimiento.

No ocurre igual en el estudio y práctica de las ciencias: los juicios falsos que formamos no involucran a nuestra existencia y bienestar. Por el contrario, la imaginación que siempre tiende a llevarnos más allá de los límites de la verdad, el amor propio y la confianza que nos inspira en nosotros mismos, nos inducen a sacar consecuencias que no se derivan inmediatamente de los hechos; de suerte que parecemos estar, de algún modo, interesados en seducirnos. No es extraño, pues, que en las ciencias físicas, en general, se hayan comúnmente realizado conjeturas en lugar de conclusiones, que estas conjeturas al transmitirse de época en época hayan llegado a ser cada vez más dominantes por el peso de la autoridad que adquirieron y que, en fin, hayan sido adoptadas y consideradas como verdades fundamentales incluso por hombres de gran inteligencia.

Para evitar estos desvarios, el único medio consiste en suspender o, al menos, simplificar todo lo posible el razonamiento que, por proceder de nosotros, solamente él puede engañarnos; en someterlo continuamente a la prueba de la experiencia; en no conservar más que los hechos que son datos de la naturaleza y no pueden equivocarnos, en no buscar la verdad más que en el encadenamiento natural de las experiencias y observaciones, al igual que los matemáticos llegan a la solución de un problema por la simple ordenación de los datos, reduciendo el razonamiento a operaciones tan sencillas, a juicios tan breves, que nunca pierden de vista la evidencia que les sirve de guía.

Convencido de estas verdades, me he impuesto la ley de no pasar nunca más que de lo conocido a lo desconocido, de no deducir ninguna consecuencia que no se derive inmediatamente de las experiencias y observaciones, y de encadenar los hechos y verdades químicas en el orden más apropiado que facilite la comprensión a los principiantes. Pero al sujetarme a este plan era imposible que no me desviase de los caminos ordinarios. Pues es un defecto común a todos los cursos y tratados de química suponer desde la primera lección que el alumno o el lector poseen unos conocimientos que sólo podrán adquirir en las lecciones siguientes. En casi todos ellos se empieza por hablar de los principios de los cuerpos y explicar la tabla de afinidades, sin advertir que por ese camino es necesario recorrer desde el primer día los principales fenómenos de la química, utilizar expresiones que no han sido definidas aún y suponer ya formados en esta ciencia a quienes se trata de enseñarla. Igualmente es un hecho que sólo se aprende poca cosa en un primer curso de química, que un año apenas es suficiente para familiarizar el oído con la terminología, la vista con los aparatos y que es casi imposible formar un químico en menos de tres o cuatro años.

Como estos inconvenientes se deben más a la naturaleza de las co-

sas que a la forma de la enseñanza, me he impuesto dar a la química un rumbo que me parece más conforme con el que sigue la naturaleza. No se me oculta que al querer evitar un género de dificultad me meta en otro y que me sería imposible superarlas todas, pero creo que las que quedan por allanar no se deben al orden que me he propuesto, sino que son más bien consecuencia del estado de imperfección en que aún se encuentra la química. Esta ciencia presenta numerosas lagunas que interrumpen la serie de los hechos y que exigen enlaces embarazosos y difíciles. No tiene la ventaja, como la geometría elemental, de ser una ciencia completa cuyas partes están todas ligadas entre sí, pero, sin embargo, su marcha actual es tan rápida y los hechos se adecúan tan satisfactoriamente a la doctrina moderna, que podemos esperar verla, incluso en nuestros días, muy cerca de alcanzar el grado de perfección de que es susceptible.

Esta ley rigurosa que no debo transgredir, de no deducir nada más allá de lo que las experiencias muestren, de no suplir nunca lo que los hechos silencien, no me ha permitido incluir en esta obra aquella parte de la química más susceptible quizá de llegar a ser un día una ciencia exacta: la que trata de las afinidades químicas o atracciones electivas. Geoffroy, Gellert, Bergman, Scheele, Morveau, Kirwan y muchos otros ya han reunido una multitud de hechos singulares a los que sólo falta colocarlos en sus lugares correspondientes. Pero no tenemos aún datos básicos o, al menos, los que poseemos no son lo bastante precisos y exactos todavía como para que puedan llegar a ser el apoyo fundamental sobre el que descansa una parte tan importante de la química. Por otra parte, la ciencia de las afinidades es a la química ordinaria lo que la geometría superior a la geometría elemental, y he creído que no debía complicar con grandes dificultades unos elementos sencillos y fáciles que serán comprendidos, espero, por un gran número de lectores...

No dejaré de extrañar que en un tratado elemental de química no aparezca un capítulo sobre las partes constituyentes y elementales de los cuerpos, pero he de advertir aquí que la manía que tenemos de que todos los cuerpos naturales se compongan únicamente de tres o cuatro elementos, se debe a un prejuicio heredado de los filósofos griegos. Admitir que cuatro elementos componen todos los cuerpos conocidos sólo por la diversidad de sus proporciones, es una mera conjetura imaginada mucho antes de que se tuviesen las primeras nociones de la física experimental y de la química. Se carecía aún de hechos y sin ellos se creaban sistemas, y hoy que los poseemos parece que nos empeñamos en rechazarlos cuando no se adaptan a nuestros prejuicios; tan es así que aún se deja sentir el peso de la autoridad de los padres de la filosofía humana y que sin duda continuará pesando sobre las generaciones venideras.

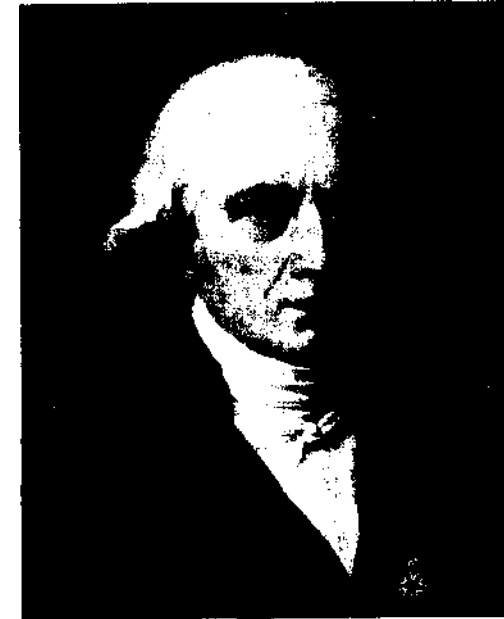
Es digno de señalar, que ninguno de los químicos partidarios de la doctrina de los cuatro elementos no haya admitido, forzado por los hechos, un mayor número de ellos. Los primeros químicos que escribieron después de la renovación de las letras, consideraron al azufre y la

sal como sustancias elementales que entraban en la composición de gran número de cuerpos, y así reconocieron la existencia de seis elementos en vez de cuatro. Becher admitía tres tierras, de cuya combinación en proporciones distintas deducía la diferencia existente entre las sustancias metálicas. Stahl modificó este sistema, y todos los químicos que le han sucedido se han permitido imaginar o introducirle algunos cambios; pero todos ellos se han dejado arrastrar por la mentalidad de su época que se contentaba con aserciones sin pruebas o, al menos, consideraba como tales las probabilidades menos fundadas.

Todo lo que puede decirse sobre el número y naturaleza de los elementos se reduce, en mi opinión, a puras discusiones metafísicas; sólo se intentan resolver problemas indeterminados susceptibles de infinitas soluciones, ninguna de las cuales, con toda probabilidad, será acorde con la naturaleza. Me contentaré, pues, con decir que si por el nombre de elementos queremos designar a las moléculas simples e indivisibles que componen los cuerpos, es probable que las ignoremos; pero si, por el contrario, unimos al nombre de elementos o principios de los cuerpos la idea del último término al que se llega por vía analítica, entonces todas las sustancias que hasta ahora no hemos podido descomponer por cualquier medio serán para nosotros otros tantos elementos; con esto no queremos asegurar que los cuerpos que consideramos como simples no se hallen compuestos por dos o mayor número de principios, sino que como nunca se ha logrado separarlos o, mejor dicho, faltándonos los medios para hacerlo, debemos considerarlos cuerpos simples y no compuestos hasta que la experiencia y la observación no demuestren lo contrario.»

ANTOINE LAURENT DE LAVOISIER (París, 1743- París, 1794). Estudió astronomía, botánica, química y matemáticas en el Collège Mazarin. En 1768 entró a formar parte de la Academia de Ciencias, de la que llegó a ser director en 1785. También en 1768 comenzó su relación con *la Ferme Générale*, organización de carácter privada que era utilizada por el Estado para la recaudación de impuestos procedentes de la contribución territorial. Además de sus investigaciones químicas, se ocupó también de cuestiones agrícolas, económicas y administrativas, produciendo estudios como: *Resultáts de quelques expériences d'agriculture et réflexions sur leurs relations avec l'économie politique* (1788), *L'état des finances de France au premier Janvier 1792* (1791) o *Réflexions sur l'instruction publique, présentées a la Convention Nationale par le Bureau de Consultation des Arts et Métiers* (1793). En 1787 fue elegido representante del Tercer Estado en la Asamblea provincial de Orleáns, y tras convocarse los Estados Generales en mayo de 1789, diputado suplente por la nobleza de Bois. Entre otros cargos de índole política fue comisario de la Tesorería Nacional. El 24 de noviembre de 1793 la convención ordenó el arresto de todos los miembros de *la Ferme Générale*, Lavoisier entre ellos. El 8 de mayo del año siguiente un tribunal revolucionario le condenó a morir en la guillotina, sentencia que se ejecutó aquel mismo día. Es célebre la frase que se adjudica a Lagrange: «Ha bastado un instante para cortar esta cabeza, y puede que cien años no basten para reproducir una parecida.»

18. La función crea el órgano: Lamarck



Entre las preguntas que surgen de manera natural, casi inevitable, a un espíritu medianamente inquieto, se encuentra la de cómo han llegado a producirse todas las especies que vemos, al igual que otras que, sin duda, las han precedido. Y no sólo esto, ¿cómo se han generado los diversos órganos que existen en los seres vivos, ya sean vegetales o animales? Hoy, familiarizados como estamos con las ideas de Charles Darwin (con quien nos encontraremos más adelante) y con la idea de mutación, respondemos inmediatamente: «Mediante el proceso denominado selección natural, en el que las mutaciones y el entorno desempeñan un papel central.» Pero no siempre fue así, naturalmente, y entre las ideas más influyentes, y hasta cierto punto más razonables, se encuentran las del naturalista francés, Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet, caballero de Lamarck, quien sostuvo que las «circunstancias» introducían cambios en los seres vivos, y que estos nuevos caracteres ad-

quiridos se mantenían en la descendencia, que eran, en definitiva, hereditarios. La función crea el órgano —una frase ésta que todavía forma parte de la cultura popular—, o, recíprocamente, la falta de uso produce su degeneración.

Como digo, la biología actual no apoya las ideas de Lamarck, pero en otros campos aún perduran. Así, la evolución cultural puede avanzar —a veces— tan rápidamente porque opera al modo lamarckiano, mediante la herencia de caracteres adquiridos. Lo que aprende, y acepta, una generación se transmite a la siguiente, mediante procedimientos como, entre muchos otros, la escritura, la educación o la tradición.

Los siguientes pasajes, extraídos de una de sus obras más conocidas, *Filosofía zoológica*, muestran con gran claridad cuales eran las opiniones y argumentos de Lamarck.

Philosophie zoologique (1809) (*Filosofía zoológica*);
del capítulo 7 («De la influencia de las circunstancias
sobre las acciones y los hábitos de los animales,
y la de las acciones y los hábitos de estos cuerpos
vivientes como causas que modifican su organización
y sus partes»)

«En el párrafo precedente hemos visto que es ya un hecho incontestable que considerando la escala animal en un sentido inverso al de la Naturaleza, se encuentra que existe en las masas que componen esta escala una degradación sostenida, aunque irregular, en la organización de estos cuerpos vivientes, y por último una disminución proporcionada en el número de las facultades de estos seres.

Este hecho bien reconocido puede facilitarnos las mayores luces sobre el orden mismo que ha seguido la Naturaleza en la producción de todos los animales a que dio vida, pero no nos muestra por qué la organización de los animales en su composición creciente, desde los más imperfectos hasta los más perfectos, no ofrece más que una gradación irregular, cuya extensión presenta muchas anomalías o desviaciones que no tienen ninguna apariencia de orden en su diversidad. Pues buscando la razón de esta irregularidad singular en la composición creciente de la organización de los animales, si se considera el producto de las influencias de las circunstancias infinitamente diversas, todo quedará explicado entonces.

Resultará, en efecto, evidente que el estado en que vemos a todos

los animales es por una parte el producto de la composición creciente de la organización que tiende a formar una graduación regular, y por otra parte, que es el de las influencias de una multitud de circunstancias muy diferentes que tienden continuamente a destruir la regularidad en la gradación de la composición creciente de la organización.

Al llegar aquí, resulta necesario que me explique sobre el sentido que atribuyo a tales expresiones: *Las circunstancias influyen en la forma y la organización de los animales*; es decir, que llegando a ser muy diferentes, cambian con el tiempo esta forma y la organización misma por modificaciones proporcionadas. Ciertamente, si se tomasen estas expresiones al pie de la letra, se me atribuiría un error, porque cualesquiera que puedan ser las circunstancias, no operan directamente sobre la forma y sobre la organización de los animales ninguna modificación. Pero grandes cambios en las circunstancias producen en los animales grandes cambios en sus necesidades y tales cambios en ellas las producen directamente en las acciones. Luego si las nuevas necesidades llegan a ser constantes o muy duraderas, los animales adquieren entonces nuevos hábitos, que son tan duraderos como las necesidades que los han hecho nacer. He aquí lo que resulta fácil demostrar.

Es por lo tanto evidente que un gran cambio en las circunstancias, llegando a ser constantes para una raza de animales, los arrastra a nuevos hábitos. Pues si nuevas circunstancias llegadas a ser permanentes para un raza de animales, les han dado nuevos hábitos, es decir, los han llevado a nuevas acciones, resultará de ello el empleo de tal parte con preferencia a tal otra, y en ciertos casos la falta total de empleo de tal parte que ha llegado a ser inútil. Nada de todo esto podría ser considerado como hipótesis o como opinión particular: todo esto puede considerarse como un conjunto de verdades que se demuestran con hechos.

Veremos en seguida, por la exposición de hechos conocidos que lo atestiguan, que nuevas necesidades, habiendo hecho necesaria cierta parte, acabaron por crearla y que más tarde el uso constante acaba por fortificarla y desarrollarla considerablemente. Además, veremos también que en ciertos casos las nuevas circunstancias y las nuevas necesidades, habiendo hecho tal parte inútil, su desuso es causa de que cese de recibir los desarrollos que las otras obtienen; que ella se debilite poco a poco hasta que la falta de uso durante mucho tiempo la hace desaparecer. Todo esto es positivo. Me propongo dar de ello las pruebas más convincentes...

Entre los individuos de igual especie, algunos de los cuales están abundantemente nutridos, y en favorables circunstancias para su desarrollo, mientras que los otros se encuentran en circunstancias adversas, se produce una diferencia entre ellos que llega poco a poco a ser muy marcada. ¡Cuántos ejemplos no podría citar respecto de los animales y los vegetales que confirman el fundamento de este aserto! Pues si las circunstancias siguen siendo las mismas, todo ello acaba por dar lugar a

una raza bien distinta entre los animales suficientemente nutridos y los hambrientos. Una primavera muy seca es causa de que las hierbas de una pradera crezcan poco, permanezcan endebles, y aunque en escaso tamaño, florezcan y fructifiquen. Una primavera en que alternan los días lluviosos y templados hace tomar a estas mismas hierbas un tamaño considerable, y la recolección de pastos es excelente entonces. Pues si alguna causa perpetúa respecto de semejantes plantas, las circunstancias desfavorables vanarán proporcionalmente, primero en un aspecto general y después en muchas particularidades de sus caracteres...

El trigo cultivado (*triticum sativum*), ¿no es un vegetal llevado por el hombre al estado en que actualmente lo vemos? Que se me diga en qué país una planta semejante habita naturalmente, es decir, sin ser la consecuencia de su cultivo en alguna vecindad. ¿Dónde se encuentran en la Naturaleza nuestras coles, nuestras lechugas, etc., en el estado en que las poseemos en nuestros huertos? ¿No sucede lo propio acerca de muchos animales a quienes la domesticidad ha modificado considerablemente? ¡Cuántas razas diferentes de palomas y gallinas nos hemos procurado criándolas en diversas circunstancias y en ciertos países! Las que han cambiado menos, porque no viven en un clima que les sea extraño, no dejan de ofrecer por ello grandes diferencias. Así, nuestros patos y nuestros gansos domésticos encuentran su tipo en los silvestres, pero los domesticables han perdido la facultad de volar a gran altura y de atravesar grandes regiones.

¿Quién no sabe que tal pájaro de nuestros climas que criamos en jaula, al cabo de algún tiempo ya no es capaz de volar como sus congéneres? El ligero cambio de circunstancia operado sobre este individuo no ha hecho, en verdad, más que disminuir su facultad de volar; pero si una numerosa serie de generaciones de los individuos de la misma raza se hubiese mantenido en cautividad durante un lapso de tiempo considerable, no hay duda alguna de que hasta la forma misma de estos seres sufriría cambios notables. ¿Dónde se encuentra ya en la Naturaleza esta multitud de razas de perros, que por efecto de la domesticidad se han producido actualmente? ¿Dónde se encuentran los galgos, los mastines, los falderos, etc., que ofrecen entre sí mayores diferencias que las que admitimos como específicas entre los animales de un mismo género que viven en estado natural?...

Así, para llegar a conocer las verdaderas causas de tantas formas diversas y de tantos hábitos diferentes como nos ofrecen los animales, es preciso considerar que las circunstancias infinitamente diversificadas, en las cuales se han encontrado los seres de cada raza, han producido para cada uno de ellos necesidades nuevas y cambios en sus hábitos necesariamente. Reconocida esta verdad, que nadie podrá negar, será fácil percibir cómo las nuevas necesidades han podido ser satisfechas y los nuevos hábitos adquiridos, si se presta alguna atención a las dos siguientes leyes de la Naturaleza, que siempre ha conservado la observación:

Primera ley

En todo animal que no ha traspasado el término de sus desarrollos, el uso frecuente y sostenido de un órgano cualquiera lo fortifica poco a poco, dándole una potencia proporcionada a la duración de este uso, mientras que el desuso constante de tal órgano lo debilita y hasta lo hace desaparecer.

Segunda ley

Todo lo que la Naturaleza hizo adquirir o perder a los individuos por la influencia de las circunstancias en que su raza se ha encontrado colocada durante largo tiempo, y consecuentemente por la influencia del empleo predominante del tal órgano, o por la de su desuso, la Naturaleza lo conserva por la generación en los nuevos individuos, con tal de que los cambios adquiridos sean comunes a los dos sexos, o a los que han producido estos nuevos individuos.

Si se considera seriamente todo lo que acabo de exponer, se comprenderá que tenía mucho fundamento para establecer en mi obra *Indagaciones sobre los cuerpos vivientes* la proposición que sigue:

"No son los órganos, es decir, la naturaleza y la forma de las partes del cuerpo de un animal, los que han dado lugar a sus hábitos y a sus facultades particulares, sino que por el contrario, sus hábitos, su manera de vivir y las circunstancias en las cuales se han encontrado los individuos de que proviene, son los que con el tiempo han constituido la forma de su cuerpo, el número y estado de un órgano, y las facultades, en suma, de que goza."»

JEAN-BAPTISTE PIERRE ANTOINE DE MONET, CABALLERO DE LAMARCK (Bazentin, Pkardy, 1744- París, 1829). El menor de los once hijos de una familia aristocrática venida a menos, Lamarck se alistó en el ejército cuando tenía dieciséis años, abandonándolo por motivos de salud tras haber servido en la guerra de los siete años. Estudió entonces medicina, aunque pronto se interesó por la botánica y la meteorología, introduciendo una técnica simplificada de clasificación de plantas, que le sirvió para ser nombrado, en 1781, botánico del rey. En 1788 consiguió una plaza de ayudante de botánica en el Jardín des Plantes de París. Cuando la Convención reorganizó Jardín, transformándolo en el Museo de Historia Natural, creó doce cátedras, adjudicando a Lamarck la de Animales Inferiores en 1793. Entre 1799 y 1810 publicó los once volúmenes de sus *Anntwires météorologiques*, y entre 1815 y 1822 los siete tomos de su *Historia natural de las animales invertebrados*.

19. Climax newtoniano: Laplace



El siglo XVIII asistió a la encumbración de la física newtoniana. Era tal su poder explicativo, tantos —y tan continuos— sus éxitos, que, inevitablemente, se terminó por creer que en sus principios fundamentales, en las tres leyes del movimiento, se encontraba la llave para comprender el funcionamiento del Universo. Otra cosa era ser *capaz de calcular* en detalle los diferentes movimientos, pero en principio ahí estaba todo. Tales sentimientos aparecen expresados con claridad y belleza en la cita que he seleccionado de uno de los grandes campeones de la física newtoniana, Pierre-Simon Laplace, autor de obras tan importantes para esa física como la *Mécanique celeste*. Como se puede apreciar, en esa cita —y en el libro del que se ha extraído— Laplace también introducía y estudiaba las probabilidades, un concepto, en principio aparentemente extraño a la seguridad y certidumbre de la dinámica newtoniana. Pero no hay lugar para tal «extrañeza», ya que las probabilidades

laplacianas no eran intrínsecas, sino consecuencia de las limitaciones humanas, y proporcionaban un mecanismo matemático para suplirlas. Llegaría una época, el siglo XX con la mecánica cuántica, en la que las probabilidades dejarían de poseer un carácter «circunstancial», instalándose en la misma esencia del comportamiento de la materia.

Essai philosophique sur les probabilités (1814) (*Ensayo filosófico sobre las probabilidades*)

«Así pues, hemos de considerar el estado actual del universo como el efecto de su estado anterior y como la causa del que ha de seguirle. Una inteligencia que en un momento determinado conociera todas las fuerzas que animan a la naturaleza, así como la situación respectiva de los seres que la componen, si además fuera lo suficientemente amplia como para someter a análisis tales datos, podría abarcar en una sola fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del universo y los del átomo más ligero; nada le resultaría incierto y tanto el futuro como el pasado estarían presentes ante sus ojos. El espíritu ofrece, en la perfección que ha sabido dar a la astronomía, un débil esbozo de esta inteligencia. Sus descubrimientos en mecánica y geometría, junto con el de la gravitación universal, le han puesto en condiciones de abarcar en las mismas expresiones analíticas los estados pasados y futuros del sistema del mundo. Aplicando el mismo método a algunos otros objetos de su conocimiento, ha logrado reducir a leyes generales los fenómenos observados y a prever aquellos otros que deben producirse en ciertas circunstancias. Todos los esfuerzos por buscar la verdad tienden a aproximarlo continuamente a la inteligencia que acabamos de imaginar, pero de la que siempre permanecerá infinitamente alejado... La regularidad que la astronomía nos muestra en el movimiento de los cometas tiene lugar, sin ningún género de dudas, en todos los fenómenos. La curva descrita por una simple molécula de aire o de vapor está determinada de una forma tan exacta como las órbitas de los planetas. Entre ellas no hay más diferencia que la derivada de nuestra ignorancia.

La probabilidad es relativa en parte a esta ignorancia y en parte a nuestros conocimientos. Sabemos que de tres o más acontecimientos sólo debe ocurrir uno, pero nada induce a creer que ocurrirá uno de ellos más bien que los otros. En este estado de indecisión nos resulta imposible pronunciarnos con certeza sobre su acaecimiento. Sin embargo, es probable que uno de estos acontecimientos, tomado arbitrariamente, no acaezca, pues vemos varios casos igual de posibles que excluyen su acaecimiento, mientras que sólo uno lo favorece.

La teoría del azar consiste en reducir todos los acontecimientos del mismo tipo a un cierto número de casos igualmente posibles, es decir, tales que estemos igual de indecisos respecto a su existencia, y en determinar el número de casos favorables al acontecimiento cuya probabilidad se busca. La proporción entre este número y el de todos los casos posibles es la medida de esta probabilidad, que no es, pues, más que una fracción cuyo numerador es el número de casos favorables y cuyo denominador el de todos los posibles.»

PIERRE-SIMON LAPLACE (Beaumont-en-Auge, 1749- París, 1827). Científico muy influyente, tanto por sus contribuciones concretas como por sus planteamientos, su carrera se desarrolló en torno a unas pocas instituciones parisinas: la Académie Royale des Sciences, hasta su supresión por la Revolución, y, después, la sección científica de su sustituto, el Institut de France, además de dos centros republicanos, la École Polytechnique y el Bureau des Longitudes. Sus obras más famosas son *Mécanique céleste* (1799-1825) y la *Théorie analytique des probabilités* (1812). Ambas las hizo acompañar de dos obras más accesibles al público: la *Exposition du système du monde* (1796), que precedió a *Mécanique céleste*, y el *Ensayo filosófico sobre las probabilidades*, que apareció en 1814 como introducción a la segunda edición de la *Théorie analytique*.

20-22. La Tierra: Humboldt, Lyell, Kelvin



No es raro que infravaloremos aquello que nos es más cercano, más familiar. Así ocurre en unos cuantos aspectos, de gran importancia, con nuestro hogar, la Tierra, el tercer planeta del sistema solar en proximidad al Sol, al que no se puede decir que la especie humana haya tratado con excesiva amabilidad durante los últimos, digamos, dos milenios, ni mucho menos, a lo largo del siglo que ahora finaliza.

Desde el punto de vista de la ciencia, también sucede que con frecuencia no se ha hecho demasiado hincapié en la geología, la principal disciplina científica en lo que se refiere a la investigación y sistematización de todo aquello que engloba a nuestro planeta. En modo alguno quiero ser partícipe de tal atropello: la Tierra, y las ciencias que se ocupan de ella —la geología, repito, a la cabeza—, no sólo merecen toda nuestra atención, sino que plantean y han resuelto —en particular a lo lar-

go del presente siglo— problemas fascinantes. Los textos que siguen tratan de algunos de ellos.

Un mundo (científico) interdisciplinar: Humboldt

Y para comenzar, nada mejor que un texto de Alexander von Humboldt, el gran explorador y pionero de la geofísica y la meteorología. Entre sus numerosos libros, Humboldt nos dejó uno particularmente interesante y extenso: *Kosmos*, en cuyo «Prefacio» encontramos párrafos que dejan claro el carácter interdisciplinar y netamente científico de disciplinas que se ocupan de la descripción y explicación de la naturaleza, como la geografía y la meteorología, entre otras.

Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung
(1845-1852) (*Cosmos. Ensayo de una descripción física del mundo*); del «Prefacio»

«Próxima a su fin mi existencia, ofrezco a mis compatriotas una obra que ocupa mi pensamiento hace ya medio siglo; la he abandonado en diferentes ocasiones, dudando de que empresa tan temeraria lograra al cabo realizarse; pero otras tantas, quizás imprudentemente, he vuelto a proseguirla, persistiendo así en mi propósito primero. Doy al público el *Cosmos*, con la natural timidez que inspira la justa desconfianza de mis fuerzas, y procurando olvidar que aquellas obras por mucho tiempo esperadas, son las que con menos benevolencia se reciben generalmente.

Las vicisitudes de mi vida y el ardiente deseo de instruirme en muy diferentes materias, me obligaron a ocuparme durante muchos años, y exclusivamente en apariencia, en el estudio de ciencias especiales, como la botánica, la geología, la química, la astronomía y el magnetismo terrestre. Preparación necesaria era esta, si habían de emprenderse con utilidad lejanos viajes, pero también tales trabajos tenían otro objeto más elevado: el de comprender el mundo de los fenómenos y de las formas físicas en su conexión y mutua influencia. Desde muy joven, he tenido la suerte de escuchar los benévolos consejos de hombres superiores, convenciéndome desde luego de que si no se poseen sólidos cono-

cimientos relativamente a las diversas partes de las ciencias naturales, la contemplación de la Naturaleza en más extensos horizontes, al igual que el intento de comprender las leyes por las que se rige la física del mundo, sólo vana y quimérica empresa serían.

Los conocimientos especiales se asimilan y fecundan mutuamente por la propia relación de las cosas. Cuando la botánica descriptiva, por ejemplo, no se circunscribe a los estrechos límites del estudio de las formas y su reunión en géneros y especies, lleva al observador que recorre bajo diferentes climas, vastas extensiones continentales, montañas y mesetas, a las nociones fundamentales de la *Geografía de las plantas*, a la exposición de la distribución de los vegetales, según la distancia del Ecuador y su elevación sobre el nivel de los mares. Ahora bien, para comprender las complicadas causas de las leyes que regulan esta distribución, es preciso penetrar en el estudio profundo de los cambios de temperatura del radiante suelo y del océano aéreo de que nuestro globo se halla envuelto. Es de este modo como el naturalista ávido de saber se ve conducido de una esfera de fenómenos dada a otra segunda que limita los efectos de aquella. La *Geografía de las plantas*, cuyo nombre era casi desconocido hace medio siglo, nos ofrecería una árida nomenclatura, desprovista de interés, si no recibiese poderoso auxilio de los estudios meteorológicos.»

Una visión uniformitarista: Lyell

Es imposible hablar en un contexto histórico de geología sin referirse a Charles Lyell, la persona que, más que ninguna otra, estableció la geología como una auténtica ciencia, en la que no tenían lugar las especulaciones y sí los procedimientos normales seguidos en otras disciplinas científicas. Su gran obra fue *Principles of Geology*, cuyo primer volumen apareció en 1830 (el tercero, y último, en 1833), produciendo inmediatamente un gran impacto. En ella, y después de analizar el desarrollo histórico de la geología, Lyell argumentaba que el orden de la naturaleza en el pasado había sido igual al que se observaba en la actualidad, y que los geólogos debían esforzarse por explicar los fenómenos geológicos en analogía a las condiciones modernas. Más tarde, compuso otra obra más breve, *Elements of Geology* (1838), de carácter fundamentalmente descriptivo y no teórico. De ella he tomado unos pasajes que nos muestran con claridad algunas de las ideas centrales del pensamiento geológico de Lyell.

Elements of Geology (1838) (*Elementos de geología*); del capítulo 1

«En la época en que empezó a cultivarse la geología, se creía generalmente que estas conchas marinas [fósiles que se encuentran muy tierra dentro] y otros fósiles eran a la vez los efectos y las pruebas del diluvio universal. Pero los que se han hallado en el caso de estudiar detenidamente estos fenómenos, han desechado hace tiempo semejante doctrina. Se podría muy bien suponer que una inundación pasajera dejase tras de sí sobre la superficie, momentáneamente cubierta por las aguas, porciones de lógamo, de arena y de guijo mezcladas confusamente con las conchas, pero los estratos rellenos de fósiles no son depósitos superficiales y no se recubren de tierra, sino que constituyen la masa entera de las montañas. Algunos escritores modernos, convencidos de que no todos los cuerpos fósiles pueden ser atribuidos al diluvio, han supuesto que la deposición de estos cuerpos en el fondo del Océano, lo mismo que las capas en que se hayan envueltos, puede haberse verificado durante un período de muchos miles de años transcurridos entre la creación del hombre y del diluvio. Ellos imaginan que el fondo antidiluviano del Océano, después de haber sido el receptáculo de varios depósitos estratificados, fue, en la época del diluvio, convertido en continentes (los que habitamos hoy día) y que los antiguos continentes, sumergidos entonces, vinieron a constituir el fondo de los mares actuales. Esta hipótesis, aunque preferible a la teoría diluviana, porque admite que todas las capas fosilíferas han sido depositadas por el agua lenta y sucesivamente, es todavía insuficiente para explicar las repetidas revoluciones que la Tierra ha sufrido y las marcas que en la mayor parte de las regiones del globo presentan los continentes actuales correspondientes a la época de su emersión fuera del Océano, marcas que prueban que dicha emergencia debió verificarse en una época mucho más remota que los cuatro mil años que se da a la actual. También haremos ver más adelante que un gran número de series distintas de estratos sedimentarios, de muchos cientos y aun de muchos miles de pies de espesor cada una, yacen las unas sobre las otras en la corteza terrestre, conteniendo cada una sus especies particulares de animales y de plantas fósiles, especies que, con muy pocas excepciones, se diferencian todas ellas de las especies que viven en la actualidad. La masa de algunos de estos estratos está formada casi enteramente de corales; hay estratos formados de conchas, otros están constituidos por plantas transformadas en carbón, al mismo tiempo que hay estratos libres de fósiles absolutamente. En una serie de estratos los fósiles pertenecen a especies marinas; en otra serie, colocada inmediatamente encima o debajo, la naturaleza de los fósiles indica de un modo evidente que el depósito se

verificó en un lago o en un estuario. El que llegue a observar cuidadosamente el detalle de todos estos hechos se convencerá de que el tiempo necesario para la formación de los continentes actuales debe haber sido de mucha más duración que la que le concede la teoría a la que nos referimos, y que una transformación universal y repentina de los mares en continentes no podría dar cuenta de los fenómenos geológicos.»

En contra del uniformitarismo: Kelvin

Las ideas de Lyell no fueron aceptadas por todos. Existían, además, serios argumentos en su contra; argumentos que provenían del estado de conocimientos en otras disciplinas, como la física, la ciencia más avanzada. El texto que incluyo a continuación expresa tales objeciones. Su autor es uno de los gigantes de la ciencia del siglo XIX, William Thomson (más tarde lord Kelvin). De hecho, en algunos aspectos (sólo en algunos) la situación que se produjo entonces recuerda a la que surgió cuando Copérnico propuso el sistema heliocéntrico, sin saber cómo contestar a las objeciones que se le planteaban acerca de por qué no se detectaba el movimiento de la Tierra. Hubo que esperar a que se desarrollase la mecánica newtoniana para responder a semejantes preguntas. Análogamente, en el caso de la geología de Lyell hubo que esperar al descubrimiento de la radiactividad y de la física cuántica.

«The 'doctrine of uniformity' in Geology briefly refuted» («La doctrina de la uniformidad en geología refutada brevemente»), *Proceedings of the Royal Edinburgh Society* (1865)

«La "doctrina de la uniformidad" en geología, según es sostenida por muchos de los más eminentes geólogos británicos, supone que la superficie de la Tierra y su corteza superior han sido, aproximadamente, como son en la actualidad, en temperatura y otras propiedades físicas, durante millones de millones de años. Pero el calor que sabemos, por observación, emite ahora la Tierra es tan grande que si *esta* acción hubiese operado con algún grado de uniformidad durante 20.000 años, la cantidad de calor perdida por la Tierra habría sido casi tanta como la que calen-

taría, a 100° centígrados, una cantidad de roca de superficie ordinaria del tamaño de 100 veces la masa de la Tierra. Esto sería más que suficiente para fundir una masa de roca de superficie igual en magnitud a *toda la Tierra*. Ninguna hipótesis relativa a acción química, fluidez interna, efectos de la presión a gran profundidad, o carácter posible de las sustancias del interior de la Tierra, que posea el menor vestigio de probabilidad, puede justificar la suposición de que la corteza superior de la Tierra haya permanecido aproximadamente como es en la actualidad, mientras que a través de toda o de parte de la Tierra se ha perdido una cantidad de calor tan grande.»

ALEXANDER VON HUMBOLDT (Berlín, 1769- Berlín, 1859). Estudió en las universidades de Frankfurt an der Oder y Gotinga, además de en las academias de comercio de Hamburgo y de minas de Friburgo. Viajero y explorador incansable, realizó descripciones naturalistas de multitud de lugares (sus diarios de viajes fueron publicados en 34 volúmenes). Impulsó, en particular, el estudio del continente americano. Combinó sus intereses naturalistas y geográficos con el estudio e investigación de temas propios de otras disciplinas, como la física o la química.

CHARLES LYELL (Kinnordy, Escocia, 1797- Londres, 1875). Hijo de un abogado y botánico *amateur*, se inició en la geología mientras seguía estudios clásicos en Oxford. Hombre de medios económicos, viajó extensamente desde su juventud, prestando especial atención a las características geológicas de los lugares que visitaba. Estudió a finales de la década de 1810 derecho en Oxford, ejerciendo esta profesión entre 1825 y 1827. En 1826 fue elegido miembro de la Royal Society. En 1831 fue nombrado catedrático de Geología en el King's College de Londres. Recibió prácticamente todos los honores que su patria podía ofrecer (sus restos reposan en la abadía de Westminster).

WILLIAM THOMSON (lord KELVIN) (Belfast, 1824- Largs, Ayrshire, 1907). Tras estudiar dos años en la Universidad de Glasgow, pasó a la de Cambridge, donde se graduó en 1845. Amplió sus estudios un año en París, especialmente con Henri Regnault, y en 1846 consiguió la cátedra de Filosofía Natural (física) de Glasgow, puesto que mantendría el resto de su vida, a pesar de varias ofertas para incorporarse al claustro de Cambridge. Sus contribuciones se extienden por diversos dominios, principalmente, el electromagnetismo, la termodinámica, la hidrodinámica y la física matemática. Intervino decisivamente en el establecimiento del cable submarino transatlántico de 1866. Nombrado lord en 1892, tomó el nombre de «Kelvin of Largs». Fue enterrado en la abadía de Westminster, junto a Newton.

23. La lucha por la vida: Malthus



Antes de pasar a Charles Darwin y su teoría de la evolución, voy a abandonar por un instante el ámbito de las ciencias de la naturaleza para asomarme al de la economía, y a uno de sus principales practicantes: Thomas Robert Malthus. Para llegar a proponer la idea de la evolución de las especies, Charles Darwin necesitó de algo más **que** observaciones de campo: en septiembre de 1838, la lectura de un libro de **Malthus**, *An Essay on the Principle of Population as it affects the future improvement of Society with remarks on the speculations of Mr. Godwin, Mr. Condorcet, and other writers* (1798) (*Un ensayo sobre el principio de población según afecta a la futura mejora de la sociedad, con comentarios sobre las especulaciones de Mr. Godwin, Mr. Condorcet y otros escritores*) le proporcionó un mecanismo causal para poder **explicar** el cambio de especies.

Como muestra de las ideas de Malthus que influyeron en Charles

Darwin, he elegido unos pasajes de la primera edición, más breve, pero también más directa y vibrante que las siguientes, de esa famosa obra:

An Essay on the Principle of Population (1798)
(*Un ensayo sobre el principio de población*);
de los capítulos 1 y 7

«... Afirmo que la capacidad de crecimiento de la población es infinitamente mayor que la capacidad de la tierra para producir alimentos para el hombre.

La población, si no encuentra obstáculos, aumenta en progresión geométrica. Los alimentos tan sólo aumentan en progresión aritmética... Para que se cumpla la ley de nuestra naturaleza, según la cual el alimento es indispensable a la vida, los efectos de estas dos fuerzas tan desiguales deben ser mantenidos al mismo nivel.

Esto implica que la dificultad de la subsistencia ejerza sobre la fuerza de crecimiento de la población una fuerte y constante presión restrictiva. Esta dificultad tendrá que manifestarse y hacerse cruelmente sentir en un amplio sector de la humanidad.

En los reinos animal y vegetal la naturaleza ha esparcido los gérmenes de vida con enorme abundancia y prodigalidad. Ha sido, en cambio, relativamente parca en cuanto al espacio y el alimento necesarios a su conservación. Los gérmenes de vida contenidos en este trozo de tierra, dada una alimentación abundante y espacio donde extenderse, llegarían a cubrir millones de mundos al cabo de unos pocos miles de años. La necesidad, esa imperiosa ley de la naturaleza, que todo lo abarca, se encarga de restringirlos manteniéndolos dentro de los límites prescritos. Tanto el reino de las plantas como el de los animales se contraen bajo esta gran ley restrictiva, y el hombre, por mucho que ponga a contribución su razón, tampoco puede escapar a ella. Entre las plantas y los animales, sus efectos son el derroche de simientes, la enfermedad y la muerte prematura. Entre los hombres, la miseria y el vicio...

El hambre parece ser el último y el más terrible recurso de la naturaleza. La fuerza de crecimiento de la población es tan superior a la capacidad de la tierra de producir el alimento que necesita el hombre para subsistir que la muerte prematura en una u otra forma debe necesariamente visitar a la raza humana. Los vicios humanos son agentes activos y eficaces de despoblación. Son la vanguardia del gran ejército de destrucción; y muchas veces ellos solos terminan esta horrible tarea.

Pero si fracasan en su labor exterminadora, son las enfermedades, las epidemias y la peste quienes avanzan en terrorífica formación segando miles y aún docenas de miles de vidas humanas. Si el éxito no es aún completo, queda todavía en la retaguardia como reserva el hambre: ese gigante ineludible que de un solo golpe nivela la población con la capacidad alimenticia del mundo... Todo indagador concienzudo de la historia de la humanidad reconocerá que en todas las épocas y en todos los Estados, en los que el hombre ha existido, o actualmente existe,

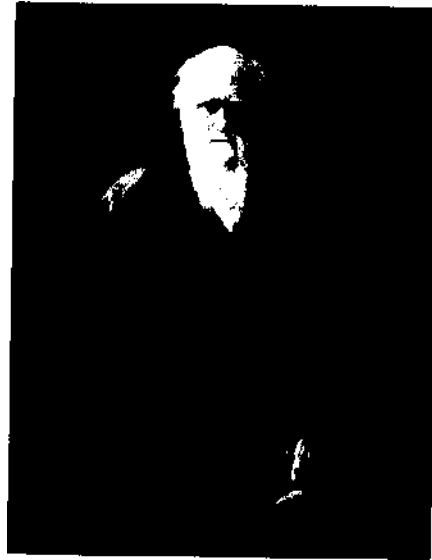
—el crecimiento de la población está necesariamente limitado por los medios de subsistencia,

—la población crece invariablemente cuando aumentan los medios de subsistencia, y

—la superior fuerza de crecimiento de la población es contenida por la miseria y el vicio para que la población efectiva se mantenga al nivel de los medios de subsistencia.»

THOMAS ROBERT MALTHUS (Dorking, Surrey, 1766- Bath, 1834). Este economista, que realizó la primera investigación seria de la manera en que evoluciona la población humana, estudió en la Universidad de Cambridge. En 1804 fue nombrado catedrático de Historia y Economía Política en el recién fundado East India College, primero en Hertford y poco después en Haileybury, cátedra (la primera de Economía Política establecida en **Inglaterra**) de la que tomó posesión en 1805. Fue uno de los primeros miembros (*fellows*) de la Royal Statistical Society, fundada poco antes de su muerte.

24. «Es como confesar un crimen»: Darwin



Pocos han sido los científicos y pocas las obras científicas que han generado ideas mediante las cuales la humanidad ha contemplado la naturaleza, el mundo, de una forma radicalmente nueva. El naturalista inglés Charles Darwin y su libro *El origen de las especies* forman parte de ese reducido grupo. Desde la publicación de esta obra, en noviembre de 1859, la teoría de la evolución mediante la selección natural ha constituido un marco de referencia indispensable para entender nuestra posición en la historia natural y, por consiguiente, en el cosmos.

Como en otros casos de grandes aportaciones al conocimiento, más aún de hecho en esta ocasión, debido a todo lo que suponía para los humanos, Darwin tuvo que moverse en diversos frentes: observaciones de la naturaleza, interpretaciones teóricas, luchas contra sus propios prejuicios (o, si se prefiere, ideas preconcebidas o heredadas y aceptadas). En cuanto a lo primero, la confrontación directa con la naturaleza, es preciso referirse al

viaje que realizó, como naturalista, entre 1831 y 1836, en el barco *Beagle*. Un momento central de este viaje tuvo lugar cuando llegó al archipiélago de las Galápagos. Pasó únicamente cinco semanas explorando sus islas, entre septiembre y octubre de 1835, pero la impresión que produjeron en él fue duradera, y la teoría de la evolución debe bastante a lo visto allí.

En la versión del *Journal of Researches into the Geology and Natural History of the Various Countries Visited by H.M.S. Beagle from 1832 to 1836* (1839) titulada (en castellano) *Viaje de un naturalista alrededor del mundo a bordo del navio Beagle desde 1832 hasta 1836*, encontramos pasajes que muestran que, efectivamente, en las Galápagos Darwin observó detalles que le serían de gran utilidad más adelante. Aparecen éstos en la entrada iniciada el 8 de octubre de 1835, cuando llegó a la isla James, donde permaneció ocho días:

«Muy curiosa es la historia natural de estas islas, y merece la mayor atención. La mayor parte de las producciones orgánicas son esencialmente indígenas, y no se las encuentra en ninguna parte; hasta entre los habitantes de las diferentes islas se encuentra cierta diversidad. Todos los organismos tienen, sin embargo, cierto grado de parentesco más o menos marcado con los de América, aun cuando separan al archipiélago del continente 500 o 600 millas de océano... Viendo todas las colinas coronadas por sus cráteres, y perfectamente marcados todavía los límites de cada corriente de lava, hay motivo para creer que, en una época geológicamente reciente se extendía el océano donde se encuentran ellas hoy. Así pues, tanto en el tiempo como en el espacio nos encontramos frente a frente del gran fenómeno, del misterio de los misterios: la primera aparición de nuevos seres sobre la tierra.

Respecto de mamíferos terrestres... en la isla James se encuentra una rata, muy diferente de la especie común..., pero como pertenece a la rama de la familia que habita el antiguo mundo, y como muchos barcos han visitado esta isla durante los ciento cincuenta últimos años, es indudable que debe ser una simple variedad producida por el clima, alimentación y país nuevos y por todo extremo originales...

El fenómeno más curioso es la perfecta graduación en el grueso de los picos, en las diferentes especies de *Geospiza*, que varía entre el tamaño del de un pico-gordo y el de un pinzón; y si ha comprendido Mr. Gould, con razón en el grupo principal, el subgrupo *Certhidea* podría decirse que llegan hasta el tamaño del pico de una silvia. El pico del *Cactornis* se parece algo al del estornino; el del cuarto subgrupo, *Camarrhynchus*, afecta en cierto la forma del del papagayo. Al considerar esta graduación y diversidad de conformaciones en un grupito de pájaros tan próximos unos a otros, podría creerse que en virtud de una po-

breza original de pájaros en el archipiélago, se había modificado una sola especie para llegar a fines diferentes.»

Con la privilegiada perspectiva que da el tiempo, no es difícil reconocer en estos pasajes el germen de la teoría de la evolución, o, cuando menos, hechos que facilitaban enormemente su concepción, como manifestó en una carta años después (el 11 de enero de 1844) Darwin al biólogo Joseph Dalton Hooker:

«Me impresionó tanto la distribución de los organismos de las Galápagos etc., etc., y teniendo en cuenta el carácter de los mamíferos fósiles de América, etc., etc., que decidí reunir a ciegas toda suerte de hechos que pudieran relacionarse de cualquier manera con qué sean las especies. He leído montones de libros de agricultura y horticultura, y no he parado de recoger datos. Por fin han surgido destellos de luz, y estoy casi convencido (totalmente en contra de la opinión de la que partí) de que las especies no son (es como confesar un crimen) inmutables. El cielo me libre del disparate de Lamarck de "una tendencia al progreso", de las "adaptaciones debidas a la paulatina inclinación de los animales, etc."»

Y así llegamos a la obra cumbre de Darwin, *On the Origin of Species by means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life* (*Sobre el origen de las especies mediante la selección natural, o la preservación de especies favorecidas en la lucha por la vida*), uno de los libros más famosos y paradigmáticos de la historia del pensamiento universal, cuya aparición tuvo lugar el 24 de noviembre de 1859. El éxito de *On the Origin of Species* fue inmediato: la primera edición se agotó el mismo día que se puso a la venta. Y pronto fue traducida a otros idiomas, incluyendo el castellano: *Origen de las especies por medio de la selección natural o conservación en su lucha por la existencia* (traducción de José de Perojo, Madrid, 1877).

Por cierto, que el término «evolución», en la actualidad asociado a la teoría de Darwin, no aparecía en la primera edición de *El origen de las especies*. Darwin lo empleó por primera vez en su libro *The Descent of Man* (1871) y en la sexta — y última— edición de *El origen* (1872), la misma en la que se eliminó el adverbio *On* del título, con lo que se acentuaba la pretensión de carácter definitivo. En esta obra capital, no sólo de la ciencia sino de la cultura, encontramos párrafos como los siguientes, en los que la influencia de Malthus es patente:

«De la rápida progresión en que tienden a aumentar todos los seres orgánicos resulta inevitablemente una lucha por la existencia. Todo ser que durante el curso natural de su vida produce varios huevos o semillas tiene que sufrir destrucción durante algún período de su vida, o, durante alguna estación, o de vez en cuando en algún año, pues de otro modo, según el principio de la progresión geométrica, su número sería pronto tan extraordinariamente grande que ningún país podría mantener el producto. De aquí que, como se producen más individuos que los que pueden sobrevivir, tiene que haber en cada caso una lucha por la existencia, ya de un individuo con otro de su misma especie o con individuos de especies distintas, ya con las condiciones físicas de vida. Esta es la doctrina de Malthus, aplicada con doble motivo al conjunto de los reinos animal y vegetal, pues en este caso no puede haber ningún aumento artificial de alimentos, ni ninguna limitación prudente por el matrimonio. Aunque algunas especies puedan estar aumentando numéricamente en la actualidad con más o menos rapidez, no pueden hacerlo todas, pues no cabrían en el mundo.

No existe excepción a la regla de que todo ser orgánico aumenta naturalmente en progresión tan alta y rápida que, si no es destruido, estaría pronto cubierta la tierra con la descendencia de una sola pareja.»

Al adoptar este mecanismo, con claras implicaciones políticas y sociales, Darwin contribuyó a la creación de la ideología del individualismo de la libre empresa, que defiende la función benéfica, e inevitable (*científicamente* inevitable, argumentan muchos, utilizando las teorías de Darwin), de la competencia entre individuos. «Darwinismo social» se ha denominado a esta —con frecuencia cruel— filosofía científico-social.

Sabemos que cuando Darwin escribió *El origen de las especies* todavía era teísta (esto es, creía en un Dios que no sólo crea sino que también cuida y sostiene el Universo; un deísta cree únicamente en un Creador remoto y despreocupado). En algún momento, después de haber compuesto su gran libro, modificó dramáticamente sus ideas religiosas. Dos pasajes extraídos de su autobiografía, de la sección «Creencia religiosa», que su hijo Francis eliminó al publicarlas en 1887, y que no verían la luz pública hasta 1955, muestran la radicalidad de semejantes ideas:

«Nadie discute que haya mucho sufrimiento en el mundo. Algunos han tratado de explicarlo, con relación al hombre, imaginando que ello sirve para su perfeccionamiento moral. Pero la cantidad de seres humanos que hay en el mundo no es nada en comparación con la de los demás seres sensibles, y éstos sufren a menudo muchísimo, y sin nin-

gún perfeccionamiento moral. Un ser tan poderoso y lleno de sabiduría como Dios, que pudo crear el universo, es para nuestras mentes finitas omnipotente y omnisciente, y nuestro entendimiento se rebela al suponer que su benevolencia no es ilimitada porque ¿qué ventaja puede haber en el sufrimiento de millones de animales inferiores durante un tiempo tan interminable? Este antiquísimo argumento contra la existencia de una primera causa inteligente, basado en la existencia del sufrimiento, me parece muy sólido; mientras que, como ya he apuntado, la presencia de tanto sufrimiento concuerda bien con la teoría de que todos los seres orgánicos se han desarrollado por medio de la variación y de la selección natural.

En nuestros días el argumento más utilizado para demostrar la existencia de un Dios inteligente se apoya en la profunda convicción íntima y en el sentimiento que la mayoría de la gente experimenta. Pero no se puede dudar que los hindúes, mahometanos y otros puedan argüir en la misma forma y con igual fuerza o mayor en favor de la existencia de un Dios, o de muchos Dioses, o, como los budistas, de ningún Dios. Existen también muchas tribus salvajes de las que no se puede decir con honradez que crean en lo que nosotros llamamos Dios: de hecho, creen en espíritus o en fantasmas, y puede explicarse, como han demostrado Tyler y Herbert Spencer, la forma en que es probable que surja semejante creencia.

Emociones como las que acabo de aludir me llevaron en otro tiempo (aunque no creo que mis sentimientos religiosos estuvieran en ningún momento demasiado arraigados) a creer firmemente en la existencia de Dios y en la inmortalidad del alma. En mi Diario escribí que cuando se encuentra uno en medio de la magnificencia de una selva brasileña, "no es posible dar una idea adecuada de los sublimes sentimientos de asombro, admiración y devoción que llenan y elevan el espíritu". Recuerdo bien mi convicción de que en el hombre había algo más que el mero aliento de su cuerpo, pero ahora las escenas más grandiosas no serían capaces de hacer nacer en mi mente semejantes convicciones y sensaciones. Podría decirse acertadamente que soy como una persona que se ha vuelto daltónica, y la creencia universal en la existencia del color rojo hace que mi actual pérdida de percepción carezca de todo valor como testimonio. Este argumento sería válido si todas las personas de todas las razas tuvieran la misma convicción interna de la existencia de Dios; pero sabemos que eso está muy lejos de ser cierto. Por lo tanto, no veo que tales convicciones y sentimientos tengan peso alguno como prueba de que existe realmente (el estado de ánimo que antaño suscitaban en mí los paisajes grandiosos, que estaba en estrecha conexión con la fe en Dios, no difería sustancialmente de lo que a menudo se llama sentimiento de lo sublime). Y por difícil que resulte explicar la génesis de esta sensación, no podemos proponerla como argumento en favor de la existencia de Dios, igual que no pode-

mos aducir el intenso, aunque vago sentimiento provocado por la música, que es similar a aquella sensación...

Otra fuente de convicción de la existencia de Dios, relacionada con la razón y no con los sentimientos, me parece de mucho más peso. Es la que se deduce de la extrema dificultad, o más bien la imposibilidad de concebir este inmenso y maravilloso universo, incluyendo al hombre con su capacidad de reflexionar sobre el pasado y el futuro, como un resultado del ciego azar o la necesidad. Cuando pienso en esto, me veo obligado a acudir a una primera causa, dotada de una mente inteligente, en cierto grado análoga a la del hombre, y merezco ser considerado teísta. Que yo recuerde, esta conclusión era muy firme en mí por el tiempo en que escribía *El origen de las especies* y desde entonces es cuando se ha ido debilitando poco a poco, con numerosas fluctuaciones. Pero entonces surge la duda: ¿Puede darse crédito a la mente humana, que se ha ido desarrollando, según estoy convencido, a partir de una mente tan baja como la que poseen los animales inferiores? ¿No podrán ser éstas el resultado de la relación entre causa y efecto, que aunque a nosotros nos parece necesaria, probablemente depende sólo de la experiencia heredada? Tampoco podemos pasar por alto la probabilidad de que la inculcación constante de una creencia en Dios en la mente de los niños produzca un efecto tan fuerte, y quizás heredado, en sus cerebros no totalmente desarrollados, que les resulte tan difícil librarse de su creencia en Dios, como a un mono de su miedo y aversión instintivos a una serpiente.»

CHARLES DARWIN (Shrewsbury, 1809- Down, 1882). Segundo hijo varón del médico Robert Darwin y Susannah, hija mayor de Josiah Wedgwood, el fundador de la célebre dinastía de ceramistas. Su abuelo paterno, Erasmus Darwin, médico próspero, además de poeta, filósofo y botánico, fue también uno de los precursores de la teoría evolucionista.

Inicialmente pretendió ser médico: en 1825 se matriculó en la Facultad de Medicina de la Universidad de Edimburgo, pero en 1827 abandonó tal idea, al igual que la universidad escocesa, trasladándose a la de Cambridge, con el propósito, no demasiado definido, de prepararse para entrar en la Iglesia de Inglaterra como sacerdote. En Cambridge, sin embargo, Darwin profundizó en los intereses, hasta entonces puramente aficionados, que había desarrollado en el campo de las ciencias naturales. Nada más finalizar sus estudios universitarios, encontró la oportunidad ideal de avanzar en aquellos intereses: fue aceptado como naturalista en el barco *Beagle*, que zarpó del puerto de Portsmouth el 27 de diciembre de 1831. Cuando regresó a Inglaterra, cinco años después (1836), era una persona muy distinta, humana y, sobre todo, intelectualmente.

Provisto de medios económicos suficientes, Darwin pasó la mayor parte de su vida, prosiguiendo sus estudios, en la casa que se compró en 1842 en el pueblo de Down, Kent.

25. Polémicas en tomo a la evolución: Huxley



La teoría de la evolución no fue solamente un acontecimiento científico de primer orden, también constituyó un suceso social de parecida magnitud. En pocos lugares fue ignorada; de hecho, suscitó grandes pasiones, en las que los argumentos científicos se mezclaban con consideraciones de índole política y religiosa.

Un debate público célebre fue el que tuvo lugar el 30 de junio de 1860, durante una de las sesiones de la multitudinaria reunión anual de la British Association for the Advancement of Science. En aquella ocasión se enfrentaron el obispo de Oxford, Samuel Wilberforce, y el biólogo Thomas Henry Huxley, que ha pasado a la historia de la ciencia, junto a sus distinguidas contribuciones a las ciencias naturales, como el mayor defensor de la teoría de la evolución.

A continuación, reproduzco la descripción que realizó de aquella sesión el reverendo W. H. Freemantle:

«El obispo de Oxford atacó a Darwin, al principio de manera jugetona, pero después con inexorable formalidad. Era sabido que el obispo había escrito un artículo contra Darwin en el último número del *Quarterly Review*; se había rumoreado también que el profesor [Richard] Owen había estado en Cuddesdon, preparando al obispo, que iba a actuar como portavoz del gran paleontólogo, que no se atrevía a participar [Owen nunca aceptó la teoría darwiniana de la evolución, y fue uno de sus críticos más encarnizados]. Sin embargo, no pareció que el obispo dominara los hechos y cometió una seria equivocación. Un hecho que había sido muy destacado como confirmación de la idea de variación de Darwin, era que hacía poco había nacido en un rebaño del norte de Inglaterra una oveja que tenía una vertebra más de lo normal en la columna vertebral. El obispo estaba manifestando con retórica exageración que no existía prácticamente ninguna evidencia en favor de Darwin. "¿Qué ha aportado?", exclamó. "Algún rumor acerca de una oveja con patas largas". Y entonces comenzó a burlarse: "Querría preguntar al profesor Huxley, que está sentado a mi lado, y dispuesto a hacerme picadillo en cuanto me sienta, acerca de su creencia en que desciende de un mono. ¿Procede esta ascendencia del lado de su abuelo o del de su abuela?" Y entonces, adoptando un tono más grave, afirmó, en una solemne perorata, que las ideas de Darwin eran contrarias a lo revelado por Dios en las Escrituras. El profesor Huxley no tenía ganas de responder, pero fue solicitado, y habló con su habitual penetración y con algo de desdén: "Estoy aquí solamente en interés de la ciencia", dijo, "y no he oído nada que pueda perjudicar los intereses de mi augusto defendido". A continuación, tras mostrar cuan poco competente era el obispo para participar en la discusión, tocó la cuestión de la Creación: "Usted dice que el desarrollo elimina al Creador; pero dice al mismo tiempo que Dios le creó y aun así sabe que usted fue originalmente un pequeño trozo de materia, no mayor que el final de este plumier de oro." Por último, con relación a descender de un mono, dijo: "No sentiría ninguna vergüenza de haber surgido de semejante origen; pero sí que me avergonzaría proceder de alguien que prostituye los dones de cultura y elocuencia al servicio de los prejuicios y la falsedad."

Hablaron muchos otros el señor Gresley, un viejo don de Oxford, señaló que en la naturaleza humana, al menos el desarrollo ordenado no era una regla necesaria; Hornero era el más grande de los poetas, pero vivió hacía 3.000 años, y todavía no ha surgido su igual.

El almirante Fitz Roy estaba presente, y dijo que a menudo había discutido con su viejo camarada del *Beagle* por sostener opiniones que eran contradictorias con el primer capítulo del Génesis.

John Lubbock declaró que muchos de los argumentos que se utilizaban para apoyar la permanencia de las especies se desvanecían, y puso como ejemplo el del trigo del que se decía que procedía de una momia egipcia, y que se le envió para demostrar que el trigo no había cambia-

do desde los tiempos de los faraones; pero que resultó venir del chocolate francés. Sir Joseph (entonces Dr.) Hooker habló brevemente, diciendo que había encontrado que la hipótesis de la selección natural era tan útil para explicar los fenómenos de su propia disciplina, la botánica, que se había visto obligado a aceptarla. Después de unas pocas palabras del viejo amigo de Darwin, profesor Henslow, que ocupaba la presidencia, la reunión se disolvió, dando la impresión de que aquellos más capaces de defender con detalle los argumentos de Darwin habían logrado que se aceptasen sus conclusiones.»

Hay que señalar que a pesar del éxito popular de *El origen de las especies*, la teoría de la selección natural de Darwin fue muy controvertida, por motivos científicos, durante el final del siglo XIX. En realidad, no fueron demasiados los biólogos que se tomaron en serio el *mecanismo* darwiniano, optando muchos de ellos por diferentes ideas antidarwinianas, o relegando la selección natural a un factor secundario y puramente negativo. Y es que Darwin descubrió el hecho de la existencia de la selección natural, contribuyendo de forma muy destacada a dilucidar la historia de la evolución animal, pero apenas pudo hacer más que vagas sugerencias acerca de por qué surgen variaciones hereditarias entre organismos y cómo se transmiten éstas de generación en generación; es decir, carecía de una teoría de la herencia. Las teorías de la herencia que prevalecían por entonces sostenían ideas como la de que las características de los progenitores se mezclan en los hijos; pero si esto era así sería difícil explicar cómo podían mantenerse, sin diluirse en el transcurso de las generaciones, las características favorables.

La pieza de que carecía Darwin era, insisto, la genética. De hecho, pudo haber dispuesto de la esencia de ella, puesto que el artículo fundacional del monje agustino Gregor Mendel, en el que formuló los principios básicos de la teoría de la herencia, a la que llegó a través de los experimentos que realizó con guisantes en el jardín de su monasterio, en lo que es hoy Brno (República Checa), fue publicado en 1865. Pero las investigaciones de Mendel apenas fueron conocidas, desde luego no por Darwin, y cuando fueron redescubiertas, simultáneamente, en 1900, por el holandés Hugo de Vries y el alemán Cari Correns, el autor de *El origen de las especies* ya había muerto.

Y ni siquiera con el desarrollo de la genética, la mutabilidad de las especies (no digo la estructura concreta de las tesis darwinianas) ha logrado vencer todas las resistencias. Así, hasta hace muy poco existían lugares, en naciones desarrolladas, donde era obligatorio conceder un tiempo igual en las escuelas para explicar las tesis creacionistas que para hacer

lo propio con la evolución de las especies. Los estados de Arkansas y Luisiana, en Estados Unidos, fueron algunos de esos lugares. No ha sido **hasta junio** de 1987 cuando se ha derogado semejante ley.

Es obligado señalar también que algunos aspectos importantes de la **teoría** de la evolución darwiniana continúan siendo discutidos. Así, **Stephen** Jay Gould y Niles Eldredge propusieron en 1972 una teoría del **cambio** evolutivo denominada del equilibrio puntuado, en la que el continuismo y gradualismo darwiniano deja su lugar a una serie de saltos, o **cambios** bruscos en la evolución de las especies.

THOMAS HENRY HUXLEY (Ealing, Middlesex, 1825- Eastbourne, Sussex, 1895). Estudió medicina en el Hospital Charing Cross de Londres, graduándose en 1845. Entre 1846 y 1850 fue médico del barco *Rattlesnake* de la marina británica. En 1854 fue nombrado catedrático de Historia Natural en la Royal School of Mines, en Londres. Llegó a presidir la Royal Society (entre 1881 y 1885).

26-27'. El final del vitalismo: Bichat y Helmholtz



Durante la primera mitad del siglo XIX la nueva ciencia química resultante de la revolución que había encabezado Lavoisier acometió el análisis de la composición tanto de las sustancias inorgánicas como de las de origen biológico. Se comprobó que las primeras contenían elementos que aparecían también en las segundas, por lo que llegó a aceptarse de modo casi general que no existía diferencia entre ambas desde el punto de vista químico. Sin embargo, todavía estaba el problema de por qué los mismos elementos formaban unas veces compuestos inorgánicos y otras orgánicos. Este problema se resolvió defendiendo la idea de que existían «principios» o «fuerzas vitales», no sometidos a las leyes físico-químicas, que separaban cualitativamente los seres vivos de los inanimados.

El camino que condujo al abandono del vitalismo fue largo y complejo, y como sucede con frecuencia, junto a aquellos que mostraron

con claridad y rotundidad posturas de uno u otro signo, se encuentran los que se movieron, en algunos apartados, entre dos aguas. Un buen ejemplo en este sentido es el de Marie Francois Xavier Bichat, un personaje de gran importancia en los orígenes de la patología, al igual que en la morfología y la fisiología. A pesar de ser uno de los impulsores de la conversión de la medicina en una ciencia exacta, Bichat no pudo librarse completamente de la influencia de las ideas vitalistas, como puede comprobarse en el texto suyo que he elegido, tomado de un trabajo titulado, «Diferencias generales de las dos vidas en relación con las fuerzas vitales».

Visto retrospectivamente, un hito importante en la superación del vitalismo se produjo en el terreno de la química orgánica, con la obtención, en 1828, por el alemán Friedrich Wöhler de la urea a partir del cianato amónico. Ahora bien, todavía quedaba una vía de escape para los defensores del vitalismo, por mucho que tuviera bastante de retórica: podían argumentar que no se trataba de la síntesis de la urea a partir de sus elementos constitutivos, sino de la *transformación* del cianato amónico en urea. Se necesitaban más evidencias: como las resultantes de investigaciones en las que la fisiología se amalgaba con la física y la química. Investigaciones del tipo de la producción de calor durante la contracción muscular. Pero para llevar adelante semejante empresa era precisa una mente pluridisciplinar, que supiese y pudiese mirar por encima de las fronteras de diferentes ciencias. Tal mente fue la de Hermann von Helmholtz, que aunque formado en medicina terminó ocupando una cátedra de Física en Berlín, después de haber poseído otras de Fisiología en varias universidades alemanas. En 1847, siendo todavía médico militar, Helmholtz formuló, en toda su generalidad, el principio de la conservación de la energía, que nos dice que nada surge de la nada, que todas las «fuerzas» existentes en la naturaleza son intercambiables, que lo que gana una lo pierde la otra. Desde semejante perspectiva, ya no era posible admitir la existencia de unas «fuerzas vitales», ajenas al resto de las fuerzas físicas.

En una época dominada por los especialistas, por aquellos que nunca abandonan el restringido ámbito de *una parte de una ciencia*, el recuerdo de las magníficas contribuciones realizadas por Helmholtz nos muestran la fecundidad de lo multidisciplinar. He seleccionado, de entre sus escritos, unos pasajes de su autobiografía en los que recordaba ciertos aspectos del derrumbe del vitalismo.

Recherches physiologiques sur la vie et la mort
(1800) (*Investigaciones fisiológicas sobre la vida*
y la muerte), M. Bichat

«1.— *Diferencia entre las fuerzas vitales y las leyes físicas.*

Consideradas bajo este punto de vista las leyes vitales, el primer juicio que nos permiten formular concierne a la notable diferencia que las distingue de las leyes físicas. Unas, incesantemente variables en su intensidad, en su energía, en su desarrollo, pasan a menudo rápidamente del último grado de postración al punto más alto de exaltación, acumúlense y se debilitan alternativamente en los órganos, y bajo la influencia de las causas más fútiles adoptan mil diversas modificaciones. El sueño, la vigilia, el ejercicio, el reposo, la digestión, el hambre, las pasiones, la acción de los cuerpos inmediatos al animal, etc., todo las expone a cada instante a múltiples revoluciones. Las otras, por el contrario, fijas, invariables, siempre las mismas, representan el origen de una serie de fenómenos uniformes. Compárese la facultad vital de sentir con la facultad física de atraer; veráse entonces que la atracción se ejerce siempre en razón de la masa del cuerpo bruto en que se manifiesta, mientras la sensibilidad cambia incesantemente de proporción en una misma región orgánica y en la misma masa de materia.

La invariabilidad de las leyes que dirigen los fenómenos físicos permite someter al cálculo todas las ciencias que constituyen su objeto, mientras que, aplicadas a los actos de la vida, las matemáticas nunca pueden ofrecer fórmulas generales. Se puede calcular el retorno de un cometa, la resistencia de un fluido que recorre un canal inerte, la velocidad de un proyectil, etc.; pero calcular con Borelli la fuerza de un músculo, con Keil la velocidad de la sangre, con Jurine, Lavoisier, etc., la cantidad de aire que entra en el pulmón, es construir sobre arenas movedizas un edificio sólido en sí mismo, pero que pronto se derrumba por falta de bases seguras.»

«Erinnerungen. Tischrede gehalten bei der Feier
des 70. Geburtstages» [«Un esbozo autobiográfico.
Discurso pronunciado —el 2 de noviembre de 1891 en
Berlín—, con ocasión del banquete celebrado para
conmemorar su setenta cumpleaños»], Helmholtz

«En mis estudios me encontré inmediatamente bajo la influencia

de un gran maestro, el fisiólogo Johannes Müller, que también introdujo en aquella época a Du Bois-Reymond, Brücke, Ludwig y Virchow al estudio de la anatomía y la fisiología. Con respecto a la cuestión crucial de la naturaleza de la vida, Müller todavía se debatía entre el antiguo punto de vista, esencialmente metafísico, y el nuevo enfoque científico que se desarrollaba entonces. Sin embargo, la convicción de que nada podría reemplazar al conocimiento de los hechos se le fue imponiendo con creciente certidumbre, y puede que la influencia que ejerció sobre sus estudiantes fuera aún mayor debido a que todavía se debatiese de esta manera.

La gente joven está deseosa de atacar inmediatamente los problemas más profundos, y yo pasé a ocuparme de la enmarañada cuestión de la naturaleza de la fuerza vital. En aquella época la mayoría de los fisiólogos habían adoptado la solución de G. E. Stahl; es decir, que a pesar de ser las fuerzas físicas y químicas de los órganos y sustancias del cuerpo vivo las que actúan sobre él, existe también dentro de él un alma, o fuerza vital, que controla las actividades de estas fuerzas. Después de la muerte la libre acción de estas fuerzas físicas y químicas produce la descomposición, pero durante la vida su acción está constantemente regulada por el alma vital. Yo tenía la sensación de que en esta explicación existía algo contrario a la naturaleza; me costó mucho esfuerzo, sin embargo, expresar mis dudas en forma de una pregunta definida. Finalmente, durante el último año de mi carrera como estudiante me di cuenta de que la teoría de Stahl trataba a todo cuerpo viviente como si fuera un *perpetuum mobile*. Yo estaba bastante bien informado de las controversias relativas a la cuestión del movimiento perpetuo, y había oído discutirlo a mi padre y a nuestros maestros de matemáticas durante mis días escolares. Además, mientras fui estudiante en el Instituto Federico Guillermo ayudé en la biblioteca, y en mis ratos libres examiné los trabajos de Daniel Bernoulli, D'Alembert, y otros matemáticos del siglo pasado. De esta manera llegué a las preguntas: ¿Qué relaciones deben existir entre las diversas fuerzas naturales para que sea posible el movimiento perpetuo?, y ¿existen de hecho tales relaciones? En mi memoria *Sobre la conservación de la fuerza*, mi intención era simplemente suministrar un examen crítico de estas cuestiones y presentar los hechos para beneficio de los fisiólogos.

Estaba bastante preparado para oír a los expertos decir simplemente: "Sabemos todo eso. ¿Qué es lo que está pensando este joven doctor que se considera llamado a explicarnos todo de manera tan completa?" Sin embargo, para mi sorpresa las autoridades de física con las que entré en contacto lo recibieron de forma muy diferente. Se inclinaban a negar la corrección de la ley y, a causa de la ardiente pelea en la que estaban inmersos contra la filosofía de Hegel, trataban mi ensayo como una pieza fantástica de especulación. Solamente el matemático Jacobi reconoció la relación de mi línea de pensamiento con la de los matemáticos

del siglo precedente, defendió mis investigaciones y me protegió de malas interpretaciones. Me encontré también con el aplauso entusiasta y la ayuda práctica de mis jóvenes amigos, especialmente de Emil du Bois-Reymond. Pronto pusieron de mi lado a los miembros de la más reciente asociación física de Berlín. Por entonces sabía poco de las investigaciones de Joule en el tema y nada en absoluto de las de Robert Mayer.

Estaban relacionadas con este estudio pequeñas investigaciones experimentales sobre putrefacción y fermentación, con las que pude suministrar evidencia de que, contrariamente a las hipótesis de Liebig, no eran simplemente descomposiciones químicas, que ocurrían espontáneamente o con ayuda del oxígeno atmosférico. Específicamente demostré que la fermentación alcohólica está ligada a la presencia de esporas de levadura, que se producen solamente por reproducción. Estaba, además, mi trabajo sobre el metabolismo durante la actividad muscular, que después fue relacionado con investigaciones sobre el desarrollo de calor durante la actividad muscular, un fenómeno que debía esperarse ocurriera de acuerdo con la ley de la conservación de la fuerza.»

MARIE FRANCOIS XAVIER BICHAT (Thoirette, Jura 1771- París, 1802). Comenzó a estudiar medicina en Lyon, pero su educación quedó interrumpida por tener que incorporarse al servicio militar durante la Revolución. En 1793, en uno de los momentos culminantes del Terror, se instaló en París. A partir de ese año enseñó medicina, y desde 1801 trabajó en el Hôtel-Dieu, el gran hospital de París para los pobres. Este mismo año formuló el programa anatomoclínico, en el que se argumentaba que la medicina alcanzaría rigurosidad científica cuando se estableciera una relación segura entre la observación clínica de los enfermos y las lesiones anatómicas que la autopsia descubre después de la muerte. Contribuyó a la fisiología sosteniendo que los diversos órganos del cuerpo contenían tejidos (membranas en su terminología) diferentes, describiendo 21 de esos tejidos.

HERMANN VON HELMHOLTZ (Potsdam, 1821- Berlín, 1894). Estudió medicina en el Instituto Real Federico Guillermo Médico-Quirúrgico de Berlín, una escuela de medicina destinada a formar médicos militares. El que eligiese esta escuela se debió a que su familia no poseía medios suficientes, y en el Instituto Federico Guillermo los estudiantes no tenían que pagar (de hecho, recibían un estipendio), a cambio de comprometerse a dedicar los ocho años siguientes a su graduación al servicio del ejército prusiano. Cuando finalizó sus estudios, en 1843, fue nombrado oficial médico y destinado al hospital militar de Potsdam. Allí permaneció cinco años y allí también llevó a cabo investigaciones que le darían la fama, como las que le permitieron formular, en 1847, el principio de la conservación de la energía (él empleó la expresión «fuerza»: *Über die Erhaltung der Kraft*), un trabajo que le ayudó, de la mano del influyente Alexander von Humboldt, a obtener permiso para abandonar —en 1848— el ejército y aceptar la oferta de enseñar anatomía en la Academia de Bellas Artes de Berlín. Más tarde ocupó cátedras de Fisiología en Königsberg, Bonn y Heidelberg, y, finalmente, la cátedra de Física de Berlín. A él se debe también la invención del oftalmoscopio.

28. Una medicina científica: Bernard



Claude Bernard fue uno de los fisiólogos más notables del siglo XIX. Especialmente dotado para la vivisección, se apoyó en ella en muchos de sus numerosos y variados descubrimientos, entre los que se cuentan la detección de la presencia en el proceso digestivo de una enzima del jugo gástrico, el descubrimiento del control nervioso de la secreción gástrica y su localización, o el papel de la bilis y del jugo pancreático en la digestión de las grasas. Consciente de la necesidad de sistematizar los procedimientos experimentales que, con una base físico-química, se empleaban con creciente intensidad en la medicina, hasta hacía poco mediatizada, como hemos visto, por la creencia de la existencia de una fuerza vital, Bernard compuso una de las obras más célebres e influyentes en la historia de las ciencias biomédicas, *Introducción al estudio de la medicina experimental* (1865), que pretendía sentar las bases para edificar una medicina científica, esto es, plenamente acor-

de con las posibilidades que ofrecían disciplinas como la física y la química. De esta obra dijo el filósofo Henri Bergson: «Es para nosotros algo así como lo que fue para los siglos XVII y XVIII el *Discurso del método*.» A tal *introducción* pertenecen los siguientes pasajes.

Introduction a l'étude de la médecine expérimentale
(1865) (*Introducción al estudio de la medicina experimental*); del «Prefacio»

«*Conservar la salud y curar las enfermedades*, este es el problema planteado por la medicina en su origen, cuya solución científica todavía persigue. El estado actual de la práctica médica hace presumir que esta solución se hará esperar aún mucho tiempo. Sin embargo, la medicina, en su marcha a través de los siglos, teniendo que obrar forzosamente, ha intentado innumerables ensayos bajo el dominio del empirismo y ha sacado de él útiles enseñanzas. Si se ha visto trabajada y perturbada por sistemas de toda especie, que su fragilidad ha hecho desaparecer, no por eso ha ejecutado menos investigaciones, ha dejado de adquirir nociones y almacenar materiales preciosos, que tomarán más tarde su puesto y su significación en la medicina científica. En nuestro tiempo, gracias a los considerables adelantamientos y a los poderosos recursos de las ciencias físico-químicas, el estudio de los fenómenos de la vida, en el estado normal o en el estado patológico, ha alcanzado progresos tan sorprendentes que cada día se multiplican más y más.

Es evidente, por tanto, para los ánimos despreocupados, que la medicina se dirige por su camino científico definitivamente. Por la marcha natural de su evolución únicamente abandona paso a paso la región de los sistemas, para revestir cada vez más la forma analítica y entrar de esta manera gradualmente en el método de investigación común a las ciencias experimentales.

Para abarcar el problema médico por completo, la medicina experimental debe abrazar tres partes fundamentales: la fisiología, la patología y la terapéutica. El conocimiento de las causas de los fenómenos de la vida en el estado normal, la *fisiología*, nos enseñará a sostener las condiciones normales de la vida; es decir, a *conservar la salud*. El conocimiento de las enfermedades y de las causas que las determinan, la *patología*, nos conducirá por una parte a precaver el desarrollo de estas condiciones morbosas, y por otra a combatir los efectos por medio de los agentes medicamentosos; es decir, a *curar las enfermedades*.

Durante el período empírico de la medicina, que sin duda durará aún largo tiempo, han podido marchar separadamente la fisiología, la pato-

logía y la terapéutica; porque no estando ninguna constituida, no necesitan de apoyo mutuo en la práctica médica. Pero en la concepción de la medicina científica esto no puede tener lugar: su base debe ser la fisiología. No estableciéndose la ciencia sino por vía de comparación, no podía obtenerse el conocimiento del estado patológico o anormal sin el conocimiento del estado normal, así como la acción terapéutica sobre el organismo de los agentes anormales o medicamentosos no podría comprenderse sin el estudio previo de la acción fisiológica de los agentes normales que mantienen los fenómenos de la vida.

La medicina científica debe constituirse, como las demás ciencias, por la vía experimental; es decir, por la aplicación inmediata y rigurosa del razonamiento a los hechos que la observación y la experimentación nos suministran. El método experimental, considerado en sí mismo, no es más que un *razonamiento* por medio del que sometemos metódicamente nuestras ideas a la experiencia de los *hechos*.

El razonamiento es siempre el mismo, así en las ciencias que estudian los seres vivos como en las que se ocupan de los cuerpos brutos. Pero en cada género de ciencia varían los fenómenos y presentan una complejidad y dificultades de investigación que les son propios. Esta es la razón del porqué los principios de la experimentación... son incomparablemente más difíciles de aplicar a la medicina y a los fenómenos de los cuerpos vivos, que a la física y a los fenómenos de los cuerpos brutos.»

Merece también la pena citar otros párrafos, pertenecientes al capítulo cuatro («Obstáculos filosóficos a la medicina experimental»); en concreto a la sección titulada «La ignorancia científica y ciertas ilusiones del espíritu médico son un obstáculo para el desarrollo de la medicina experimental»;

«Cuando un fenómeno oscuro e inexplicable se presente en medicina, en lugar de decir: no lo sé, como todo científico debe hacer, los médicos acostumbran a decir: es la vida, sin querer comprender que no explican una cosa oscura mediante otra aún más oscura. Es necesario acostumbrarse a creer que la verdadera ciencia no es más que el determinismo de las condiciones de los fenómenos, y por lo tanto procurar siempre suprimir completamente la vida de la explicación de todo fenómeno fisiológico; la vida no es otra cosa que una palabra que quiere decir ignorancia; y cuando queremos calificar un fenómeno de vital, equivale a decir que es un fenómeno cuya causa próxima y cuyas condiciones ignoramos. La ciencia debe explicar lo más oscuro y complejo mediante lo más claro y sencillo: por lo tanto, la vida, que es lo más os-

curo en la ciencia, jamás puede servir de explicación a nadie. Insisto sobre este punto, porque he visto a algunos químicos invocar la vida para explicar ciertos fenómenos físicos específicos de los seres vivos. Así, el fermento de la levadura de la cerveza es una materia viva organizada que tiene la propiedad de descomponer el azúcar en alcohol, anhídrido carbónico y algunos otros productos; también he oído decir que esta propiedad de descomponer el azúcar se debía a la *vida* propia del glóbulo de levadura. Ignoramos la naturaleza de esta propiedad descomponente, pero indudablemente debe pertenecer al orden físico-químico y estar tan llanamente determinada como la propiedad del musgo de platino, por ejemplo, que provoca descomposiciones más o menos análogas, pero que no pueden atribuirse en este caso a ninguna fuerza vital. En una palabra, todas las propiedades de la materia viva son en el fondo, o propiedades conocidas y determinadas, y entonces las llamamos *físico-químicas*, o desconocidas e indeterminadas, y las llamamos *vitales*. Hay, sin duda, en los seres vivos una fuerza especial que no se halla en ninguna otra parte, y que preside su organización para la existencia de esta fuerza; nada puede cambiar las ideas que tenemos acerca de las propiedades de la materia organizada, materia que, una vez creada, está dotada de propiedades físico-químicas fijas y determinadas. La fuerza vital es, pues, una fuerza *organizadora y nutritiva*, pero no determina de modo alguno la manifestación de las propiedades de la materia viva. En una palabra, el fisiólogo y el médico deben procurar referir las propiedades vitales a propiedades físico-químicas, y no éstas a aquéllas.»

CLAUDE BERNARD (Saint-Julien, cerca de Villefranche, Beaujolais, 1813- París, 1878). Estudió medicina en París (se licenció en 1843), obteniendo su primera cátedra en 1854, en la Facultad de Ciencias de París, pasando a ocupar un año después la que dejó libre François Magendie en el Collège de France. Recibió numerosos honores durante su vida, incluyendo la Legión de Honor. Cuando murió, el Estado francés le ofreció un funeral público, el primer científico a quién Francia concedió semejante trato.

29. Maxwell sobre Faraday



Ninguna antología dedicada a la ciencia puede prescindir de incluir entre sus páginas a Michael Faraday y James Clerk Maxwell, dos de los físicos de más altura en la historia de la ciencia (hay quien sostiene, de hecho, que en lo que a la física se refiere sólo les superan Newton y Einstein). Se da, además, la circunstancia de que ambos fueron británicos -inglés, el primero, escocés, el segundo—, que a pesar de la diferencia de edad que les separaba (40 años), tuvieron oportunidad de relacionarse, y, finalmente, que fue Maxwell quien completó la estructura de la teoría electromagnética, que Faraday, más que ningún otro, había impulsado con sus descubrimientos experimentales, al igual que introduciendo la noción de campo electromagnético, que él no supo, sin embargo, expresar en forma matemática.

Maxwell fue perfectamente consciente de la deuda científica que tenía con Faraday, y tal vez por ello aceptó escribir un artículo para la no-

vena edición de la *Encyclopaedia Britannica*, en el que glosó la vida y obra de su colega. He pensado que reproduciéndolo, alcanzaría el objetivo plural de introducir a los lectores a las contribuciones y biografía de Faraday, recuperar la palabra de Maxwell, y unir a ambos, que tanto compartieron científicamente, en el tiempo y el espacio de esta antología.

Encyclopaedia Britannica, novena edición, «Faraday», J. Clerk Maxwell

«Faraday, Michael, químico, electricista y filósofo, nació en Newington, Surrey, el 22 de septiembre de 1791, y murió en Hampton Court, el 25 de agosto de 1867. Sus padres habían emigrado desde Yorkshire a Londres, donde su padre trabajaba como herrero. El propio Faraday se hizo aprendiz con Mr. [George] Riebau, un encuadernador. Las cartas escritas durante aquella época a su amigo Benjamín Abbott proporcionan una lúcida descripción acerca de sus propósitos en la vida, y sobre los métodos autodidactas que seguía, cuando su mente estaba comenzando a dirigirse hacia el estudio experimental de la naturaleza. En 1812, Mr. Dance, un cliente de su patrón, le llevó a escuchar cuatro conferencias de Sir Humphry Davy. Faraday tomó notas de estas conferencias, y posteriormente las escribió de forma más completa. Con el estímulo de Mr. Dance, escribió a Sir H. Davy, enviándole las notas. "La respuesta fue inmediata, amable, y favorable." Continuó trabajando como oficial encuadernador hasta el primero de marzo de 1813, cuando, con la recomendación de Sir H. Davy, fue nombrado ayudante en el laboratorio de la Royal Institution de Gran Bretaña. Sería designado director de este mismo laboratorio el 7 de febrero de 1825, y en 1833 *Fullerton Professor* de Química perpetuo en la Institución, sin obligación de impartir clases. De modo que permaneció en el Instituto durante 54 años. Acompañó a Sir H. Davy a una gira por Francia, Italia, Suiza, el Tirol, Ginebra, etc., desde el 13 de octubre de 1813 hasta el 23 de abril de 1815.

Los primeros trabajos químicos de Faraday siguieron los caminos abiertos por Davy, del que era ayudante. Hizo un estudio especial del cloro, y descubrió dos nuevos cloruros de carbono. También realizó los primeros experimentos preliminares sobre la difusión de gases, un fenómeno señalado por vez primera por Dalton, cuya importancia física fue más claramente puesta en evidencia por Graham y Loschmidt. Tuvo éxito licuando diversos gases; investigó las aleaciones del acero y produjo nuevos tipos de vidrio para fines ópticos. Una muestra de uno de estos vidrios pesados se convirtió después en históricamente importan-

te como el sustrato sobre el que Faraday detectó la rotación del plano de polarización de la luz cuando se sitúa el cristal en un campo magnético, y también como la sustancia que fue repelida por primera vez por los polos de un imán...

Pero el trabajo químico de Faraday, aunque importante en sí mismo, pronto se vio completamente ensombrecido por sus descubrimientos eléctricos. El primer experimento que dio a conocer fue la construcción de una pila voltaica con siete medios peniques, siete discos de lámina de zinc y seis piezas de papel mojado en agua salada. Con esta pila descompuso sulfato de magnesio (primera carta a Abbott, 12 de julio de 1812). A partir de entonces, cualesquiera que fuesen los temas que atrajesen su atención de vez en cuando, era de entre los fenómenos eléctricos de donde seleccionaba los problemas a los que aplicaba toda la fuerza de su mente, y los que mantenía constantemente a la vista, incluso en aquellos casos en los que un año tras otro fracasaba en sus intentos de resolverlos.

Su primer descubrimiento notable fue la producción de la rotación continua, en torno a ellos mismos, de imanes y de hilos que conducen corriente eléctrica. Las consecuencias que se pueden extraer del gran descubrimiento de Oersted (21 de julio de 1820) estaban todavía siendo exploradas en 1821, de una forma, en cierto modo confusa, por los principales hombres de ciencia. De hecho, el Dr. Wollaston había sostenido que él podía lograr que el hilo conductor rotase sobre su propio eje, y en abril de 1821 llegó con Sir H. Davy al laboratorio de la Royal Institution para realizar un experimento. Faraday no estaba allí en aquella ocasión, pero al llegar después oyó la conversación sobre la esperada rotación del hilo.

Durante julio, agosto y septiembre de aquel año, a petición del Dr. Phillips, el editor de *los Annals of Philosophy*, Faraday escribió para esa revista un esbozo histórico del electromagnetismo, y repitió casi todos los experimentos que describía. Esto le llevó a principios de septiembre a descubrir el método de producir la rotación continua del hilo alrededor del imán, y del imán alrededor del hilo. No tuvo éxito intentando que el hilo o el imán se revolvieran sobre su propio eje. Este primer éxito de Faraday en investigación electromagnética se convirtió en ocasión de las más dolorosas, aunque infundadas, imputaciones contra su honor...

Podemos señalar, sin embargo, que aunque el hecho de la fuerza tangencial entre una corriente eléctrica y un polo magnético fuera enunciado con claridad por Oersted, y claramente comprendido por Ampère, Wollaston y otros, el conseguir la rotación continua, entre ellos, del hilo y del imán fue un rompecabezas científico que requirió de una no desdeñable ingenuidad para su realización...

Continuemos ahora hacia el descubrimiento supremo de la inducción de las corrientes eléctricas.

En diciembre de 1824, Faraday había intentado obtener una corriente eléctrica por medio de un imán, y en tres ocasiones había realizado intentos elaborados pero infructuosos para producir una corriente en un hilo por medio de una corriente en otro hilo, o por un imán. Perseverando, el 29 de agosto de 1831 obtuvo la primera evidencia de que una corriente eléctrica puede inducir otra en un circuito diferente. El 23 de septiembre escribe a su amigo R. [Richard] Phillips: "Ahora estoy ocupado de nuevo con el electromagnetismo y creo que he conseguido una cosa buena, pero no estoy seguro. Acaso sea una mala hierba en lugar de un pez lo que, después de todo mi trabajo, pueda finalmente sacar." Este fue el primer experimento en el que tuvo éxito. Tras nueve días más de experimentos, había llegado a los resultados descritos en su primera serie de las "Investigaciones Experimentales" leídas en la Royal Society el 24 de noviembre de 1831.

Mediante un intenso esfuerzo mental, en menos de tres meses desde su primer desarrollo, Faraday había llevado la nueva idea a un estado de madurez perfecta. La magnitud y originalidad de su logro puede estimarse esbozando la historia que siguió a su descubrimiento. Como era de esperar, en seguida fue objeto de investigación por todo el mundo científico, pero algunos de los físicos más experimentados fueron incapaces de evitar errores al exponer, en lo que imaginaban era un lenguaje más científico que el de Faraday, los fenómenos que tenían ante ellos. Hasta el momento presente, los matemáticos que han rechazado el método empleado por Faraday para formular su ley, como indigno de la precisión de su ciencia, no han tenido éxito en concebir fórmulas esencialmente diferentes que expresen completamente los fenómenos, sin introducir hipótesis acerca de la acción mutua de objetos que no tienen existencia física, tales como elementos de corrientes que fluyen surgiendo de la nada, luego van por un hilo, y finalmente se sumergen de nuevo en la nada.

Tras casi medio siglo de esfuerzos de este tipo, podemos decir que, aunque las aplicaciones prácticas del descubrimiento de Faraday han aumentado, creciendo en número y valor cada año, no se ha descubierto ninguna excepción a la formulación de estas leyes tal como las dio Faraday, no se ha añadido ninguna nueva ley, y su formulación original permanece hasta el día de hoy como la única que expresa exactamente aquello que se puede verificar por experimentos, y la única mediante la cual la teoría de los fenómenos se puede expresar en una manera que es exacta y numéricamente precisa, y a la vez dentro del rango de los métodos elementales de exposición.

Durante su primer período de descubrimientos, además de la inducción de corrientes eléctricas, Faraday estableció la identidad de la electrificación producida de formas diferentes, la ley de la acción electrolítica de la corriente, y el hecho, que recalcó con gran fuerza, de que cada unidad de electrificación positiva está relacionada de una manera defi-

nida con una unidad de electrificación negativa, de forma que es imposible producir lo que Faraday denominó "una carga absoluta de electricidad" de una clase que no esté relacionada con una carga igual pero de clase opuesta...

El primer período de los descubrimientos eléctricos de Faraday duró diez años. En 1841 se dio cuenta de que necesitaba reposo, y no fue hasta 1845 que comenzó su segundo gran período de investigación, en el que descubrió el efecto del magnetismo sobre la luz polarizada y el fenómeno del diamagnetismo...

El descubrimiento de la rotación magnética del plano de la luz polarizada, aunque no condujo a aplicaciones prácticas tan importantes como algunos de los primeros descubrimientos de Faraday, ha sido el de mayor valor para la ciencia, al suministrar evidencia dinámica completa de que donde quiera que exista fuerza magnética hay materia, pequeñas partes de la cual rotan alrededor de ejes paralelos a la dirección de esa fuerza.

Hemos dado unos pocos ejemplos de la concentración de sus esfuerzos en la búsqueda de la identificación de las aparentemente diferentes fuerzas de la naturaleza, de su visión de largo alcance para seleccionar temas de investigación, de su constancia en alcanzar lo que se proponía, de su energía para desarrollar los resultados de sus descubrimientos, y de la precisión y completitud con la que hizo su presentación final de las leyes del fenómeno.

Las características de su espíritu científico se encuentran en la superficie de su trabajo, y son evidentes para todos los que leen sus escritos. Pero existía otro lado de su carácter, a cuyo cultivo dedicó al menos la misma atención, y que estaba reservado para sus amigos, su familia y su iglesia. Sus cartas y su conversación siempre estaban llenas de cualquier cosa que pudiese despertar un sano interés, y desprovistas de todo lo que pudiese levantar malos sentimientos. Cuando, en raras ocasiones, se vio forzado a salir de la región de la ciencia a la de la controversia, precisó los hechos y dejó que ellos siguiesen su propio camino. Estaba totalmente desprovisto de orgullo y de presunción indebida. Mientras crecían sus poderes siempre aceptó agradecido una corrección, y hacía uso de cualquier recurso, por humilde que fuese, que hiciese su trabajo más efectivo en todos los detalles. Cuando al final encontró que su memoria fallaba y que sus poderes mentales declinaban, abandonó, sin ostentación o quejas, cualesquiera partes de su trabajo que no pudiese desarrollar ya de acuerdo con su propia norma de eficacia. Cuando ya no fue capaz de aplicar su mente a la ciencia, permaneció contento y feliz en el ejercicio de los sentimientos amables y de los afectos cálidos que había cultivado con el mismo cuidado que sus poderes científicos.

Los padres de Faraday pertenecieron a la muy pequeña y aislada secta cristiana que se nombra habitualmente según Robert Sandeman. El propio Faraday asistió a sus reuniones desde la infancia; a la temprana-

na edad de 30 años hizo profesión pública de su fe, y durante dos períodos diferentes desempeñó el cargo de mayor. Su opinión con respecto a la relación entre la ciencia y su religión está expresada en una conferencia sobre educación mental que pronunció en 1854 y que está impresa al final de sus *Researches in Chemistry and Physics* [*Experimental Researches in Chemistry and Physics*, 1859], y a la que añadió la siguiente nota:

"Estas observaciones fueron impartidas como una conferencia en presencia de su Alteza Real el Príncipe Consorte y de los miembros de la Royal Institution el 6 de marzo de 1854. Están tan conectadas en su naturaleza y origen con mi propia vida experimental, considerada bien como causa o como consecuencia, que he pensado que el final de este volumen era un lugar adecuado para su reproducción."

Como concluye el Dr. Bence Jones:

"Sus normas con respecto al deber eran sobrenaturales. No se basaban en alguna idea intuitiva de lo que es correcto o equivocado, no estaban modeladas sobre ninguna experiencia externa al espacio y tiempo, sino que estaban basadas enteramente en lo que mantenía que era la revelación de la voluntad de Dios en la palabra escrita, y a lo largo de toda su vida su fe le llevó a actuar siguiendo al pie de la letra esa palabra."

JAMES CLERK MAXWELL (Edimburgo, 1831- Cambridge, 1879). Estudió en las universidades de Edimburgo y Cambridge, donde se graduó en 1854. Ocupó cátedras en Aberdeen, King's College de Londres y Cambridge, donde también fue el primer director del laboratorio Cavendish. Realizó contribuciones seminales a la física estadística y el electromagnetismo, produciendo una formulación que unificaba los fenómenos eléctricos, magnéticos y ópticos; también llevó a cabo aportaciones notables a la teoría de los colores y a nuestro conocimiento de la estructura de los satélites de Saturno. En 1873 publicó *A Treatise on Electricity and Magnetism*, uno de los grandes clásicos de la ciencia.

30. Sinfonías físico-matemáticas: Boltzmann sobre Maxwell



Ludwig Boltzmann es considerado como uno de los fundadores de una de las ramas más fecundas de la física de finales del siglo XIX y comienzos del XX: la física estadística. Fue un espíritu complejo y apasionado, con gran sensibilidad filosófica y, me atrevería también a decir, artística. Reverenciaba a Maxwell. Cuando, por poner un **ejemplo**, visitó por primera vez Inglaterra, en 1894, para participar en una **discusión** sobre mecánica estadística organizada dentro del programa de **la reunión** anual (que aquel año se celebró en Oxford) de la **British Association for the Advancement of Science**, hacía ya quince años que Maxwell había muerto. Aun así, Boltzmann aprovechó la ocasión para trasladarse a Cambridge, presentándose sin avisar —directamente desde la **estación** de ferrocarril— a la puerta del laboratorio Cavendish, del que **Maxwell** había sido primer director. Allí pidió que se le permitiese consultar **inmediatamente** los manuscritos inéditos de Maxwell, argumentando que

en ellos se debían encontrar cálculos de inmensa importancia, especialmente las notas a su artículo postumo de 1880 sobre gases rarificados. Los manuscritos no se encontraron, apareciendo años después. En su intervención en Oxford pidió a la British Association que «se esforzase por averiguar si los manuscritos de las investigaciones realizadas por Maxwell sobre la aplicación de los esféricos armónicos a la teoría de gases todavía existían, y, si tal manuscrito se hubiese perdido, que animase a los físicos a repetir estos cálculos». Afortunadamente, el manuscrito en cuestión no se perdió, aunque su publicación tardase todavía muchos años en llegar: no vería la luz hasta 1995.

Pero el lugar en el que se muestran con mayor belleza, pasión y vehemencia, los sentimientos de Boltzmann con relación a Maxwell, se encuentra en un pasaje de uno de sus artículos (publicado en 1888), en el que el físico austríaco comparó uno de los artículos más importantes de Maxwell en física estadística (publicado en 1867: «On the dynamical theory of gases», *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 157, págs. 49-88) con una gran sinfonía, con su majestuosa organización, espléndida profundidad de pensamiento y dramática simplificación cuando el maestro escribe, tras llegar a cierta expresión matemática [$V^{(n5)/(n)}$], las palabras mágicas: «Hagamos $n=5\dots$ »

Pero, ¿a cuento de qué viene todo esto? Pues, simplemente, para que los lectores de este libro comprendan que la ciencia no es ajena a sentimientos que habitualmente denominamos «artísticos»; que aquellos que son capaces de leer los textos científicos y las expresiones matemáticas que éstos incluyen, pueden encontrar en ellos una belleza, una armonía o estilos «artísticos» que otros únicamente reconocen en disciplinas como la música, la literatura o la pintura. Que la creación científica es, en definitiva, también un arte, especialmente en manos de sus grandes talentos, como sin duda lo fue, insisto en ello, James Clerk Maxwell.

«Über das Gleichgewicht der lebendigen Kraft
zwischen progressiver und Rotationsbewegung
bei Gasmolekülen» [«Sobre el equilibrio de la fuerza
viva entre el movimiento progresivo y de rotación
en moléculas de gas»], *Monatsberichte der
Königlich. Preussischen Akademie der
Wissenschaften* (Berlín, 1888)

«Un matemático reconocerá a Cauchy, Gauss, Jacobi, Helmholtz

después de leer unas pocas páginas, al igual que los músicos reconocen, **a partir** de las primeras líneas del pentagrama, a Mozart, Beethoven o **Schubert**. Una suprema elegancia externa pertenece a los franceses, **aunque** en ocasiones esté combinada con alguna debilidad en la construcción de las conclusiones; el mayor vigor dramático pertenece a los **ingleses**, y, sobre todo, a Maxwell. ¿Quién no conoce su teoría dinámica **de los gases**? En primer lugar, se despliegan las variaciones de las velocidades en un orden majestuoso; a continuación, entran por un lado las ecuaciones de estado, y del otro las ecuaciones del movimiento central; **surge** con frecuencia cada vez mayor una riada caótica de fórmulas, **hasta** que de repente resuenan las cuatro palabras: «Hagamos $n=5$ », y **el maligno demonio V** [la velocidad relativa de dos moléculas] desaparece, igual que una salvaje y poderosísima nota puede ser reducida repentinamente al silencio en el violón. Como si una aparente desesperada confusión fuese puesta en orden con una varita mágica. No hay **tiempo** para explicar porqué se hace una u otra sustitución; dejemos **que** aquel que no lo sienta en sus huesos abandone el libro. Maxwell no **es** un compositor de programas de música que tenga que introducir su **obra** con una explicación escrita. Obedientemente, sus fórmulas proporcionan resultado tras resultado, hasta que alcanzamos el efecto final **de sorpresa**. El problema del equilibrio térmico de un gas pesado ha sido resuelto y el telón cae.»

LUDWIG BOLTZMANN (Viena, 1844- Duino, 1906). Estudió en Viena, donde tuvo la oportunidad de seguir los cursos de Josef Stefan y Josef Loschmidt. Ocupó numerosos puestos académicos: fue catedrático de Física Teórica en las universidades de Graz, Munich, **Viena** y Leipzig, de Matemáticas en Viena y de Física Experimental en Graz (tal vez satisfizo con tantos cambios su espíritu viajero). Durante su vida se embarcó en profundas y con frecuencia amargas controversias con científicos (como Ernst Mach o **Wilhelm Ostwald**) que negaban la realidad de los átomos, idea en la que se basaban sus trabajos **estadísticos**. Se suicidó en Duino, cerca de Trieste, el 5 de septiembre de 1906.

31. Arquitectura molecular: Kekulé



El problema de la estructura de la materia no se limita a cuáles son sus bloques fundamentales constituyentes (elementos químicos, los llamamos). También está la cuestión de cómo se unen los diferentes elementos, para formar las diversas sustancias químicas; la cuestión, en definitiva, del enlace. Uno de los avances más notables y originales en este campo, en el dominio —en tantos sentidos tan interesante y fecundo— de la química orgánica se debe al químico alemán August Kekulé. En 1858, Kekulé publicó un artículo en el que, después de ofrecer los argumentos por los que pensaba que el carbono debía tener una valencia igual a cuatro (esto es, que se une con cuatro átomos de un elemento monoatómico, o con dos de uno diatómico, etc.), sentó las bases esenciales de la denominada teoría estructural (tres meses después, el químico escocés Archibald Couper presentó un trabajo muy parecido, pero pasó casi inadvertido). Kekulé postulaba que los átomos de carbono se podían

combinar entre sí formando cadenas. En 1865 presentó —o, mejor, comenzó a desarrollar— su teoría de la estructura del benceno, que para él tenía la forma de un anillo hexagonal con seis átomos de carbono interrelacionados y unidos a átomos de hidrógeno. Para hacer que esta estructura fuese compatible con la valencia del carbono, representaba la cadena por enlaces simples y dobles que se alternaban.

En una conferencia conmemorativa en honor de Kekulé, pronunciada en 1898, otro químico, Francis Japp, manifestó que la teoría del benceno de Kekulé constituía «la pieza más brillante de la producción científica que puede encontrarse en toda la química orgánica. Tres cuartas partes de la química orgánica moderna son directa o indirectamente producto de esta teoría». Y, más literariamente, el historiador William Brock ha escrito que «Kekulé transformó la química como después Picasso transformó el arte, permitiendo al espectador ver dentro y detrás de las cosas».

Ahora bien, ¿cómo pudo dar semejante salto cualitativo Kekulé? ¿cómo pudieron ocurrírsele esas estructuras geométricas, espaciales? Es esta una pregunta que se plantea habitualmente en los momentos más creativos de la ciencia. Y raras veces se puede dar una respuesta directa: la creación científica es normalmente un proceso complejo y multidireccional. No obstante, este caso es algo diferente, en tanto que el propio Kekulé argumentó que existió un momento de «intuición subconsciente» en su proceso creativo. Sin duda que tal momento no fue sino consecuencia, o parte, de un proceso más complicado, pero merece la pena reproducir lo que Kekulé explicó.

Conferencia pronunciada sobre los orígenes y el nacimiento de la teoría estructural de la química orgánica (*Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, 1890)

«Están ustedes celebrando el jubileo de la teoría del benceno. Lo primero que debo decirles es que para mí, la teoría del benceno fue solamente una consecuencia de las opiniones que me había formado acerca de las valencias de los átomos y de la naturaleza de su enlace, las opiniones, en consecuencia, que ahora denominamos valencia y teoría estructural. ¿Qué otra cosa podría haber hecho con las no utilizadas valencias?...

Se ha señalado que la teoría del benceno emergió, armada como Pa-

las Atenea, de la cabeza de un Zeus químico. Puede haber parecido eso, pero no es así como sucedió. Y estoy en situación de aclarar la cuestión.

Mis ideas sobre la valencia química y el modo de unión de los átomos —lo que ahora llamamos teoría estructural— surgieron durante mi primera estancia en Londres. Siendo un joven instructor en Heidelberg, puse estas ideas en papel y las compartí con mis amigos más próximos. Sacudieron sus cabezas, llenos de dudas. Resolví que una de las dos cosas no estaba aún lista, bien la teoría o el momento, de manera que dejé que mi manuscrito siguiese en la mesa: *Nonumque prematur in annum*. Más de un año después, un artículo de Limpricht me indujo a publicarlo, aunque por supuesto en una forma modificada. El artículo no ganó materialmente con esta modificación. Habría servido mejor su propósito si no hubiese aparecido la parte polémica. Para mí, era preferible la primera versión.

La teoría del benceno tuvo una suerte parecida. Durante casi un año permaneció completamente acabada entre mis papeles, hasta que las bellas síntesis de hidrocarburos aromáticos de Fitting y Tollens me llevaron a publicarla-

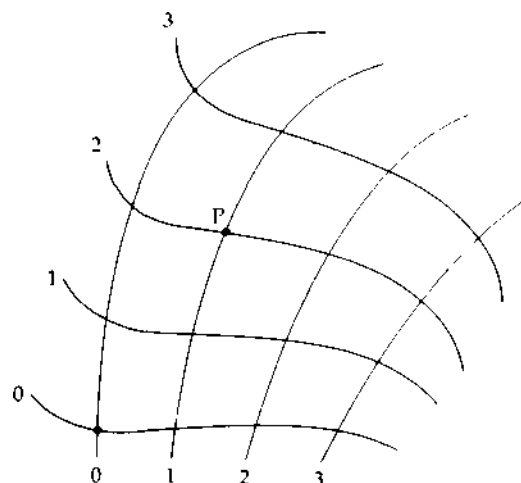
Acaso les interese, si me dejan que, revelándoles detalles altamente indiscretos de mi vida interior, les diga cómo llegué a algunas de mis ideas.

Durante mi estancia en Londres [en el verano de 1854] residí durante un tiempo considerable en Clapham Road, en las proximidades de Clapham Common. Sin embargo, con frecuencia pasaba las tardes con mi amigo Hugo Müller en Islington, en el extremo opuesto de la metrópoli. Hablábamos de muchas cosas, pero sobre todo de nuestra querida química. Una agradable tarde de verano, regresaba como de costumbre en el último autobús, a través de las desiertas calles de la ciudad, que en otros momentos están tan llenas de vida. Caí en un ensueño, y, de repente, ¡ahí estaban los átomos saltando ante mis ojos! Antes, cuando estos diminutos seres habían aparecido ante mí, siempre se encontraban en movimiento, pero hasta aquella ocasión no había sido capaz de discernir la naturaleza de sus movimientos. Ahora, sin embargo, vi cómo, con frecuencia, dos átomos pequeños se unían formando un par; cómo uno más grande atrapaba a los dos más pequeños; cómo otros todavía más grandes cogían a tres o incluso cuatro de los pequeños, mientras el conjunto se mantenía girando en una danza vertiginosa. Vi cómo los más grandes formaban una cadena, arrastrando tras ellos a los más pequeños, pero sólo por los extremos de la cadena. Vi lo que nuestro antiguo maestro, Kopp, mi tan respetado profesor y amigo, ha representado con tanto encanto en su *Molekular-Welt [Mundo molecular]*; pero yo lo vi mucho antes que él. El grito del conductor, "¡Clapham Road!", me despertó de mis sueños, pero pasé una parte de la noche poniendo sobre el papel al menos esbozos de estas formas soñadas. Este fue el origen de la "Teoría estructural".

Algo parecido sucedió con la teoría del benceno. Durante mi estancia en Gante, residí en un elegante alojamiento para solteros en la calle principal. Sin embargo, mi estudio daba a un estrecho pasadizo por el que no penetraba la luz del día. Para el químico, que pasa el día en el laboratorio, esto importaba poco. Estaba sentado escribiendo en mi cuaderno, pero mi trabajo no progresaba; mis pensamientos se dirigieron hacia otra parte. Giré la silla hacia el fuego y me adormecí. De nuevo los átomos estaban saltando ante mis ojos. Esta vez, los grupos más pequeños se mantenían modestamente en un segundo plano. Mi ojo mental, que se había vuelto más agudo debido a la repetida aparición de visiones de este tipo, podía distinguir ahora estructuras más grandes de diversas configuraciones; largas filas, a veces agrupadas más estrechamente, todas retorciéndose y retorciéndose en un movimiento parecido al de una serpiente. ¡Pero, mira! ¿Qué es aquello? Una de las serpientes se había mordido su propia cola, y la forma giraba burlonamente ante mis ojos. Como si se hubiera producido la chispa de un relámpago, me desperté; y esta vez pasé el resto de la noche desarrollando las consecuencias de la hipótesis.»

FRIEDRICH AUGUST KEKULÉ VON STRADONITZ (Darmstadt, 1829- Bonn, 1896). Comenzó a estudiar arquitectura en Giessen (lo que algunos han considerado como un elemento que pudo intervenir en sus aportaciones a la teoría estructural), pero el poder de atracción de las clases de Liebig le llevó a estudiar química. Más tarde, y siguiendo el consejo de Liebig, amplió, entre 1851 y 1852, estudios en París con Dumas. Después de trabajar un año y medio en Suiza para un adinerado químico, marchó a Londres en 1854 como ayudante de John Stenhouse. Al regresar a Alemania, en 1855, abrió un pequeño laboratorio químico privado en Heidelberg, dando clases también (sin recibir ningún salario) en la universidad. Ocupó cátedras en las universidades de Gante (1858) y Bonn (1867).

32. Geometrías multidimensionales: Riemann



El siglo XIX asistió a la limitación de las pretensiones del sistema geométrico desarrollado por Euclides. Primero fueron las denominadas «geometrías no euclidianas», desarrolladas por Nicolai Lobachevski (1826, 1829) y János Bolyai (1829, 1832), y, aunque nunca llegó a publicar nada en este campo, Karl Gauss. Estas geometrías mantenían el sistema euclidiano, salvo el célebre quinto postulado (dados una línea recta y un punto exterior a la misma, sólo cabe trazar una línea recta en su plano que pase a través del punto y nunca llegue a encontrarse con la otra línea). En consecuencia, y a pesar de su extraordinaria novedad, no se apartaban todavía de la tridimensionalidad que aparentemente caracteriza a nuestro mundo físico.

Hubo que esperar a Bernhard Riemann para que esto cambiase, y no sólo para que cambiase nuestro entendimiento del papel de la dimensionalidad geométrica, sino para que comenzásemos a entender realmente en

qué consiste la geometría, cómo se la puede definir (o construir), cuál es su relación con la topología (el viejo *análisis situs* de Leibniz), y, aunque sus comentarios pasasen inadvertidos para la mayoría, para que nos planteásemos la cuestión de si nuestro espacio físico es realmente tridimensional y euclidiano, una cuestión que introduciría y resolvería Albert Einstein en 1915, con su teoría de la relatividad general.

Y todo esto lo hizo Riemann en unas pocas páginas, en las que se recogen el contenido de su *Habilitationsschrift* de 1854, esto es, la conferencia que pronunció ante el claustro de la Universidad de Gotinga para ser aceptado como *Privatdozent* (cualificado para enseñar en la universidad). El resultado fue una de las conferencias más importantes, originales e influyentes de la historia de la ciencia y, en general, del pensamiento. Se trata, es verdad, de un texto complejo, profundo y, al igual que sucede en muchos otros escritos de Riemann, con una notable dimensión filosófica. He elegido la parte más «sencilla», la inicial («Plan de estudio»). Para aquellos que puedan apreciar toda su profundidad, será como para quienes al paladear un buen vino, descubren todo tipo de matices y sensaciones.

-v...

Über die Hypothesen welche der Geometrie zu Grunde liegen (1854) (Sobre las hipótesis que sirven de fundamento a la geometría)

«Se sabe que la geometría admite como dado *a priori* no sólo el concepto de espacio, sino también las primeras ideas fundamentales de las construcciones en el espacio. Puesto que no da de estos conceptos sino definiciones nominales, las determinaciones esenciales se introducen bajo forma de axiomas. Las relaciones mutuas de estos datos primitivos permanecen envueltas en el misterio; no se percibe bien si están necesariamente ligadas entre sí, ni hasta qué punto lo están, ni siquiera *a priori* si pueden estarlo.

Desde Euclides hasta Legendre, por no citar sino el más ilustre de los reformadores modernos de la geometría, nadie entre los matemáticos ni entre los filósofos ha venido a aclarar este misterio. La razón es que el concepto general de las magnitudes de dimensión múltiple, que comprende como caso particular las magnitudes extensas, no ha sido jamás objeto de ningún estudio. En consecuencia, yo me he planteado primero el problema de construir, partiendo del concepto general de magnitud, el concepto de magnitud de dimensiones múltiples. Se deducirá que una magnitud de dimensiones múltiples es susceptible de di-

ferentes relaciones métricas, y que el espacio no es, por tanto, más que un caso particular de una magnitud de tres dimensiones. Se deduce de esto, necesariamente, que las proposiciones de la geometría no pueden deducirse del concepto general de magnitud, sino que las propiedades por las cuales el espacio se distingue de toda otra magnitud imaginable de tres dimensiones no pueden ser deducidas más que por la experiencia. De aquí surge el problema de buscar los hechos más simples por medio de los cuales pueden establecerse las relaciones métricas del espacio, problema que, por la naturaleza misma del objeto, no está completamente determinado; pues se pueden indicar varios sistemas de hechos simples, suficientes para la determinación de las relaciones métricas del espacio. El más importante, para nuestro objeto actual, es el que Euclides ha tomado por base. Estos hechos, como todos los hechos posibles, no son necesarios; no tienen sino una certeza empírica y constituyen las hipótesis. Se puede, pues, estudiar su probabilidad, que es ciertamente muy considerable dentro de los límites de la observación, y juzgar por esto del grado de seguridad de la extensión de tales hechos fuera de estos mismos límites, tanto en el sentido de los inconmensurablemente grandes, como el de los inconmensurablemente pequeños.»

GEORG FRIEDRICH BERNHARD RIEMANN (Breselenz, Hannover, 1826- Selasca, 1866). Hijo de un pastor luterano, parecía destinado a seguir los pasos de su padre, pero su gran y precoz talento matemático le llevó a estudiar matemáticas en Gotinga, donde recibió las enseñanzas del gran Gauss. En 1847 pasó a Berlín, donde se vio influido por las enseñanzas de Dirichlet y Jacobi. Dos años después regresó a Gotinga, donde se doctoró. Murió de tuberculosis a la edad de treinta y nueve años, dejando su huella en importantes áreas de la matemática, desde la teoría de funciones a la geometría. También realizó notables aportaciones a la física.

33. La teoría microbiana de las infecciones: Koch



Cuántos seres humanos perecieron, antes de nuestro siglo, en las salas (de operación, por supuesto, pero también en las demás) de hospitales de todo el mundo, al igual que en muchos otros ambientes, es algo que nunca sabremos. Demasiados, en cualquier caso. Asociando situaciones y hechos, se produjeron algunos avances durante la primera **mitad** del siglo XIX: como el debido al médico húngaro Ignaz Semmelweis, que introdujo —en la década de 1840— medidas higiénicas, como el lavado de manos, con lo que redujo la mortalidad debida a la fiebre puerperal. ¿Pero, por qué se producía tal reducción? En 1865 Louis Pasteur sugirió que existían microorganismos en el aire. Ahí existía un posible agente transmisor de enfermedades; de hecho, tal idea indujo al cirujano inglés Joseph Lister a lavar con fenol las heridas de los pacientes a los que había operado.

Otro médico que se interesó en estas cuestiones fue Robert Koch, que

tras haber llevado a cabo importantes investigaciones sobre el ántrax (en 1876 describió su etiología y patología), fue designado por la Oficina Imperial de la Salud de Berlín para asesorar en cuestiones de salud e higiene pública. En 1882 Koch, que desarrolló métodos sencillos y originales para crecer y examinar cultivos bacterianos, anunció en la Sociedad de Fisiología de Berlín su descubrimiento del bacilo de la tuberculosis, una enfermedad —cuya primera denominación fue «tisis», «consunción» después— responsable por aquel entonces de la muerte de millones de personas cada año (sólo en Prusia la mortalidad ascendía, en 1882, a 300 por cada 100.000 habitantes). Un año más tarde, identificó el bacilo del cólera.

Fue, en definitiva, durante el último tercio del siglo XIX cuando se constituyó la microbiología médica. Gracias, sobre todo, a las investigaciones de Koch y Pasteur, y de los que vinieron tras ellos, se llegó a conocer con gran precisión científica la relación causal entre microorganismos y enfermedades infecciosas. Surgió así un nuevo modo de concebir la enfermedad. Para los defensores de la, entonces nueva, mentalidad (etiopatológica), las enfermedades infecciosas pasaban a ser la consecuencia reactiva a la agresión de una causa externa, microbio o sustancia tóxica.

«Über bakteriologische Forschung» («Sobre la investigación bacteriológica»), conferencia pronunciada en el X Congreso Internacional de Medicina, Berlín, 4 de agosto de 1890

«Cuando recibí el honroso encargo de preparar una comunicación para el Congreso Internacional, me enfrenté a la elección del tema: tomarlo de aquella rama de la ciencia de la que me ocupó con preferencia actualmente, es decir, de la higiene, o de la bacteriología, a la que pude dedicarme anteriormente durante años, casi con exclusividad.

Me decidí por la última, porque soy de la opinión de que la bacteriología reclama todavía el interés general, por lo que intentaré describirles en breves rasgos el estado actual de la investigación bacteriológica, al menos de algunas de sus partes más importantes. En realidad, con esto no les ofreceré nada nuevo a quienes se dedican a esta especialidad. Pero para no presentarme ante ellos con las manos completamente vacías, tengo la intención de intercalar en mi exposición algunos hechos inéditos hallados en mis continuos estudios sobre la tuberculosis.

La bacteriología es una ciencia muy joven, por lo menos en lo que se refiere a nosotros los médicos. Hasta hace unos quince años, apenas si se sabía algo más que en el carbunco y en la fiebre recurrente aparecen en la sangre unas formaciones extrañas peculiares, y que en las enfermedades por infección de las heridas existen, ocasionalmente, los llamados vibriones. No se contaba aún con una demostración de que estos elementos podían ser los causantes de aquellas enfermedades y, con excepción de unos pocos investigadores considerados como extravagantes, se concebían tales hallazgos más bien como curiosidades que como supuestos productores de enfermedades. Tampoco se podía pensar de manera muy diferente, pues no se había demostrado nunca que se tratase de seres independientes y específicos para estas enfermedades. En los líquidos en putrefacción, especialmente en la sangre de animales ahogados, se habían encontrado bacterias que no se distinguían de los bacilos del carbunco. Algunos investigadores no querían, en absoluto, otorgarles la categoría de seres vivientes, sino que los consideraban como formaciones cristaloides. Bacterias idénticas a los espíritus de la fiebre recurrente existirían en las aguas pantanosas y en el sarro de los dientes, habiéndose hallado bacterias semejantes a los micrococos de las enfermedades de las infecciones de las heridas, al parecer, en la sangre y en los tejidos sanos.

Con los recursos ópticos y experimentales de que se disponía tampoco se podía ir más lejos, y así se hubiera seguido durante mucho tiempo si no hubieran aparecido, justo entonces, nuevos métodos de investigación que impusieron, de pronto, conductas completamente distintas, abriendo caminos hacia horizontes más amplios en ese oscuro terreno. Con el auxilio de los sistemas de lentes perfeccionados y su empleo más adecuado y con la colaboración del uso de los colorantes de anilina, se consiguió observar nítidamente hasta las bacterias más pequeñas, pudiéndoselas distinguir, en cuanto a su morfología, de los otros microorganismos. Al mismo tiempo y mediante la utilización de substratos nutritivos, líquidos o sólidos, según las exigencias, fue posible separar los gérmenes en forma aislada y obtener cultivos puros sobre los que se pudieron determinar las propiedades particulares de cada una de las especies de manera absolutamente segura. Muy pronto se observaron los resultados rendidos por estos nuevos recursos. Se descubrió una cantidad de especies nuevas, bien caracterizadas, de microorganismos patógenos, y, lo que fue especialmente importante: se demostró la relación causal entre éstas y las enfermedades correspondientes. Como los agentes patógenos hallados pertenecían, todos, al grupo de las bacterias, eso despertó la suposición de que las verdaderas enfermedades infecciosas debían estar condicionadas, exclusivamente, por determinadas especies bacterianas, distintas entre sí, pudiéndose abrigar, también, la esperanza de que en un tiempo no muy lejano podrían encontrarse los causantes específicos de todas las otras enfermedades contagiosas.

Entretanto, esta esperanza no se realizó, y el desarrollo ulterior de la investigación bacteriológica hizo múltiples progresos inesperados, también en otros campos. Si me tuviese que atener, en un principio, a los resultados positivos de la investigación bacteriológica, tendría que destacar, entonces, precisamente los siguientes puntos:

En la actualidad, es necesario admitir como absolutamente demostrado que las bacterias, así como los organismos vegetales superiores, constituyen especies definidas, muy difíciles, en realidad, de delimitar entre sí. La opinión sostenida hasta hace pocos años con gran obstinación, y sustentada aún hoy por algunos investigadores, de que las bacterias son susceptibles de variar de una manera que se diferencia de las restantes formas vivientes, y que pueden adoptar tan pronto determinadas propiedades biológicas o morfológicas, luego otras completamente distintas de éstas, y que, a lo sumo, puede admitirse la existencia de unas pocas especies; o que las bacterias no son, de ningún modo, organismos independientes, y que pertenecen, más bien, al ciclo evolutivo de los mohos o, como querían otros, al de las algas inferiores; después, el concepto combatido aún más de su autonomía, y de que son descendientes de células animales, como por ejemplo, de los glóbulos rojos; maneras de pensar, todas éstas, insostenibles frente al cúmulo arrollador de observaciones reunidas que evidencian, sin lugar a dudas, que también aquí nos enfrentamos con especies bien caracterizadas. Si nos atenemos al hecho de que algunas enfermedades infecciosas condicionadas por bacterias, como la lepra y la tisis, fueron descritas ya por los médicos antiguos, en lo que a sus características inequívocas se refiere, podríamos deducir de ello, incluso, que las bacterias patógenas poseen la tendencia de conservar sus propiedades durante un tiempo largo, más que de modificarlas rápidamente, como se admite, por lo general, cuando se considera el carácter variable de muchas enfermedades epidémicas. Por supuesto que dentro de ciertos límites pueden existir en las bacterias desviaciones del tipo habitual de la especie, en particular, también en las bacterias patógenas; pero aun en este sentido, tampoco se diferencian las bacterias, en lo más mínimo, de los vegetales superiores, entre los que es factible hallar múltiples variaciones retrógradas, por lo general, como consecuencia de influencias exteriores, y que nos permiten, a lo sumo, hablar de variedades, pero que no impiden continuar admitiendo a las especies como tales...

Un ejemplo muy característico de la dificultad con que tropieza la determinación de una especie es el que nos ofrece el bacilo de la tifoidea. Si se lo encuentra en los ganglios mesentéricos, en el bazo o en el hígado del cadáver de un tifoideo, en realidad nunca surgirá la duda de estar frente al verdadero bacilo tífico, pues en estas ubicaciones nunca se observaron, hasta ahora, otras bacterias con las que se lo pudiera confundir. Pero las circunstancias se presentan completamente distintas cuando se trata de demostrar la existencia de los bacilos de la tifo-

idea en el contenido intestinal, en el suelo, en el agua o en el polvo del aire. Allí existen muchísimas bacterias semejantes a aquéllos, y que sólo un bacteriólogo muy avezado es capaz de diferenciarlas de los bacilos de la tifoidea, aún no con absoluta seguridad, pues se carece todavía de características constantes e inconfundibles...

La creencia de cuales debían ser los responsables de estas enfermedades, ya había sido señalada, en realidad, con bastante anticipación, por algunos investigadores sobresalientes, mas no había sobre ello un consenso general, y un gran escepticismo fue la respuesta a los primeros descubrimientos realizados en este campo. Pero precisamente en estos casos iniciales se hizo factible realizar, tanto más, la demostración sobre bases incontrovertibles, de que los microorganismos hallados en una enfermedad infecciosa son, en efecto, la causa de ella. Entonces, estaba todavía justificada la objeción de que podría tratarse de una coincidencia fortuita entre la enfermedad y los microorganismos, y de que esos últimos no se comportaban como agentes peligrosos, sino que serían parásitos inofensivos que hallaron, precisamente en los órganos enfermos, las condiciones ausentes en el cuerpo sano para subsistir. Muchos admitían, a decir verdad, las propiedades patógenas de las bacterias, pero creían posible que ellas se hubiesen transformado en patógenas sólo bajo el influjo del proceso patológico a partir de otros microorganismos inofensivos presentes casual o constantemente. Pero cuando se pudo demostrar, primero, que el parásito es detectable en cada uno de los casos de la respectiva enfermedad, y en circunstancias tales que corresponden a las alteraciones patológicas y al curso clínico de la enfermedad; segundo, que nunca aparece en ninguna otra enfermedad como parásito casual y virulento; y tercero, que es posible aislarlo perfectamente del organismo, y que, a menudo, después de propagado durante bastante tiempo en forma de cultivo puro puede provocar nuevamente la enfermedad; entonces, no pudo ser considerado más como un accidente fortuito de la enfermedad ni tampoco pensarse, en estos casos, en ninguna otra relación entre parásito y enfermedad, sino que el primero era la causa de la última.*

Esta demostración se aplicó después también, en su totalidad, a una cantidad de enfermedades infecciosas, como el carbunco, la tuberculosis, la erisipela, el tétanos y muchas enfermedades de los animales, y principalmente en casi todas aquéllas transmisibles a los animales. Y en todas ellas se hizo evidente, una vez más, que en todos los casos en los que es posible demostrar en una enfermedad infecciosa la presencia regular y exclusiva de bacterias, éstas nunca se comportan como parásitos accidentales, sino como las bacterias reconocidas ya con toda seguridad como patógenas. De aquí que ya esté bien justificado sostener, aun cuando sólo se hayan cumplido las dos primeras condiciones de la demostración,... la relación causal entre parásito y enfermedad. Partiendo de esta suposición debemos, en consecuencia, considerar como

parasitarias a una serie de enfermedades con las que no se logró todavía hasta ahora infectar a animales de experimentación, para proporcionar así el tercer paso a la demostración. Pertenecen a estas enfermedades el tifus abdominal, la difteria, la lepra, la fiebre recurrente y el cólera asiático. En lo que se refiere a esta última afección, quisiera hacer notar con toda insistencia, la resistencia tenaz, extraordinaria, que se opuso a la admisión de esta enfermedad como parasitaria. Se recurrió a todo lo imaginable para despojar a las bacterias del cólera de su carácter específico, pero salieron airozas de todas las impugnaciones, pudiéndose admitir actualmente como un hecho simple comprobado y sólidamente establecido que constituyen la causa del cólera...

[Sin embargo, en] muchos aspectos, y precisamente en aquellos de los que se esperaba más, la investigación bacteriológica nos ha dejado completamente desamparados. Tal es el caso del conocimiento de una cantidad de enfermedades infecciosas que por su manifiesta virulencia parecen ofrecer puntos de ataque particularmente poco vulnerables a la investigación. Tal ocurre, en primer lugar, con todo el grupo de las enfermedades infecciosas exantemáticas, como el sarampión, la escarlatina, la viruela y el tifus exantemático. No se ha logrado hallar aún, para ninguna de ellas, el menor indicio de cuál podría ser la especie productora de la enfermedad. El caso mismo de la vacuna, siempre tan accesible y cuyo estudio en los animales de laboratorio puede realizarse tan fácilmente, resistió con tenacidad todos los esfuerzos para establecer el agente específico de la misma. Lo mismo vale para la rabia.

Tampoco sabemos todavía nada sobre el agente patógeno de la influenza [gripe], de la tos convulsiva, del tracoma, de la fiebre amarilla, de la peste bovina, de la peste neumónica, y de muchas otras enfermedades indudablemente infecciosas.»

HEINRICH HERMANN ROBERT KOCH (Clausthal, Oberharz, 1843- Baden-Baden, 1910). Comenzó a estudiar ciencias naturales en la Universidad de Gotinga, pero pronto pasó a medicina, doctorándose en 1866. Tras ejercer la profesión durante muchos años, y servir a su país en la guerra francoprusiana, a los cuarenta años de edad sus intereses experimentaron un fuerte cambio cuando comenzó a ocuparse del ántrax, desarrollando nuevas técnicas para el estudio de cultivos. En 1891 fue designado director del recientemente establecido Instituto de Enfermedades Infecciosas, puesto al que renunció en 1904. Recibió el premio Nobel de Medicina y Fisiología en 1905 «por sus investigaciones y descubrimientos en relación con la tuberculosis».

\. La vacunación contra la rabia: Pasteur



Acabamos de tener la ocasión de ver cómo defendía Koch la teoría microbiana de la enfermedad, y también cómo, en las últimas líneas del texto citado, señalaba que entre las enfermedades para **las que** no había podido encontrar todavía el agente externo que las causaba se encontraba la rabia. Pasteur tampoco lo encontró, pero sí supo **preparar** una vacuna para este mal.

Las vacunas desempeñaron un papel destacado en la revolución médico-científica sanitaria que se produjo durante la segunda mitad del **siglo XIX**, período al que me estoy refiriendo desde el apartado anterior, **dedicado a Koch**. La palabra «vacunación» deriva del latín *vaccinae*, que **friere decir** «de la vaca» (parece que Pasteur fue el primero en emplearla **en 1880**). Estrictamente, la vacunación no fue un descubrimiento **propia**mente dicho, pues se practicaba en Turquía desde tiempo inmemorial. &>s turcos «vacunaban» contra la viruela tomando muestras del conteni-

do de las pústulas de los casos moderados de viruela y la inoculaban a personas sanas. La práctica llegó a oídos de la embajadora de Inglaterra en Constantinopla, Mary Wortley Montagu, quien en 1718 la introdujo en Gran Bretaña, y numerosas personas se inmunizaron contra esta enfermedad, que sembraba el terror. Pero algunas murieron. Sería otro inglés, Edward Jenner, quien introdujo, en 1798, la vacunación contra la viruela a gran escala, aunque con una variante con respecto al método de Montagu: Jenner no inoculaba el virus de la viruela, sino el de la viruela bovina (de las vacas), que es distinto, pero que provoca reacciones inmunitarias eficaces contra el de la viruela. Además, y esto es muy importante, no tomaba muestras hasta el séptimo día de la aparición de las pústulas, es decir, cuando el germen había perdido parte de su virulencia. Consciente o inconscientemente, Jenner había descubierto el principio de la vacunación por gérmenes debilitados. De esta manera, y aunque no se poseía ningún modelo del mecanismo a través del cual se produce una infección, ni sobre cómo funciona una inmunización, la idea de que la inoculación con un germen debilitado podía ayudar al organismo a defenderse de él se vio reforzada.

Es en este contexto en el que el nombre de Louis Pasteur llegó a alcanzar gloria mundial, una gloria que lejos de atenuarse perdura en la memoria colectiva contemporánea como resto —ya parte de la cultura popular— de un pasado cada vez más difícilmente identificable. Químico y microbiólogo, uno de los fundadores de la estereoquímica, impulsor de la microbiología y la inmunología, defensor, como ya he señalado, de la teoría microbiana del origen de las enfermedades, introductor —en conexión con su concepción biológica de la fermentación como resultado de la actividad de organismos vivos— de las técnicas de esterilización (que terminaron denominándose «pasteurización»), los trabajos de Pasteur afectaron directa y profundamente a áreas centrales y especialmente visibles de la salud pública. Tras sus investigaciones, la medicina sufrió una completa transformación; las enfermedades contagiosas —uno de las grandes, y seculares, enemigos de la humanidad— comenzaron a ser combatidas mediante técnicas realmente seguras.

Cuando Louis Pasteur preparó la primera vacuna antibacteriana contra el ántrax del ganado, empleó, de manera completamente consciente, gérmenes debilitados. El principio de la debilitación de los gérmenes fue también puesto en práctica por Pasteur para preparar vacunas contra la rabia (también llamada hidrofobia), enfermedad infecciosa mortal, que afecta a los perros (que enloquecen produciéndoles horror el agua), pero que también pueden atacar —mediante mordeduras de éstos— a las personas. El período de incubación de la rabia varía de uno a tres meses, según el lugar y la gravedad de la mordedura (se da la circunstancia de que

«! propio Pasteur había contemplado a la edad de nueve años la terrible acción de este mal, al ver cauterizar, en una herrería cercana a su casa, las heridas producidas por las mordeduras de un lobo rabioso a un hombre), período tras el cual se produce una muerte lenta y dolorosa. Sus primeros estudios en este campo comenzaron en diciembre de 1880, cuando un veterinario le llevó dos perros rabiosos y le pidió su opinión. Sólo había experimentado con perros cuando, en 1885, le llevaron un niño de 9 años que había sido mordido por un perro rabioso. A pesar de no ser médico, Pasteur aceptó el desafío y experimentó la vacuna en el niño con éxito. Había nacido la vacunación moderna (la única gran modificación que se produciría posteriormente ha sido la introducción de vacunas obtenidas por ingeniería genética, que se iniciaron en 1983, y cuyo primer producto comercializado fue la vacuna contra la hepatitis B, en 1986).

Como ejemplo de las aportaciones de Pasteur he seleccionado el artículo en el que comunicó a la Academia de Ciencias de París los resultados que había obtenido con aquel niño. Fue, sin duda, uno de esos momentos, auténticamente inolvidables no sólo para sus protagonistas sino también para la memoria histórica de la humanidad, en los que la ciencia rinde beneficios de manera inmediata a los seres humanos.

«Méthode pour prévenir la rage après morsure»
(«Método para prevenir la rabia después de una mordedura»), *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* (sesión del 26 de octubre de 1885)

«La profilaxis de la rabia, tal y como la expuse en mi nombre y en el de mis colaboradores en mis notas precedentes, constituía sin duda un progreso real en el estudio de esta enfermedad, progreso, bien es verdad, más científico que práctico. Su aplicación podía causar accidentes. De 20 perros tratados, tan sólo era posible asegurar el estado refractario a la rabia de 15 o 16.

Por otra parte era de gran utilidad terminar el tratamiento mediante una última inoculación muy virulenta con un virus de control, que confirmara y reforzara el estado refractario. La prudencia exigía que los perros se conservaran vivos durante un tiempo superior al periodo de incubación de la enfermedad producida por la inoculación directa de este último virus. Por ello, era necesario a veces un intervalo de tres o cuatro meses para asegurar el estado refractario a la rabia.

Tales exigencias limitaban mucho la aplicación del método, cuya

puesta en práctica llevaba tiempo. Ello era un gran obstáculo dado el carácter imprevisto y accidental de las mordeduras rabiosas.

Había que encontrar un método más rápido, capaz de asegurar su acción en perros. ¿Cómo aplicarlo al hombre antes de haber perfeccionado el método?

Después de innumerables pruebas, he encontrado un método profiláctico rápido y práctico, con el que he obtenido bastantes éxitos en perros. Esto me hace confiar en la generalización de su aplicación a todos los animales y al hombre.

Este método reposa esencialmente en los hechos siguientes: la inoculación de médula rábica de perro con rabia de la calle a un conejo debajo de la duramadre y mediante trepanación, produce siempre la rabia en estos animales después de un periodo medio de incubación de quince días. Si se pasa el virus de este primer conejo a un segundo, de éste a un tercero y así sucesivamente con el anterior método de inoculación, manifiesta una tendencia cada vez más acusada a que el periodo de incubación de la rabia disminuya en los conejos así inoculados.

A los veinte o veinticinco pases de conejo a conejo se encuentran periodos de incubación de ocho días, que se mantienen durante una nueva fase de veinte o veinticinco pases. Después aparece una incubación de siete días, que perdura hasta el nonagésimo pase. En esta cifra me encuentro en la actualidad, con una leve tendencia a un periodo de incubación menor de siete días.

Este tipo de pruebas comenzó en noviembre de 1882 y dura ya tres años, sin que la serie se haya interrumpido nunca ni se haya tenido que recurrir a un virus distinto del de los conejos muertos sucesivamente de rabia. Es fácil, en consecuencia, poseer siempre durante intervalos de tiempo considerables un virus rábico de una pureza perfecta, siempre idéntico a sí mismo o de una gran semejanza. Ésta es la consecuencia *práctica* más importante del método.

Las médulas de estos conejos son rábicas en su totalidad y su virulencia constante.

Si con las máximas precauciones posibles se desprenden tiras de algunos centímetros de estas médulas y se las suspende en aire seco, la virulencia desaparece en ellas lentamente hasta extinguirse por completo. El periodo de extinción de la virulencia varía según el espesor del fragmento medular y, sobre todo, de la temperatura exterior. Cuanto más baja es esta última, mayor conservación de la virulencia. Estos resultados constituyen el aspecto *científico* del método.

Una vez establecidos estos hechos, he aquí el método para hacer a un perro refractario a la rabia en un tiempo relativamente corto.

En una serie de tubos de ensayo en los que se mantiene seco el aire mediante trozos de potasa depositados en el fondo, se suspende cada día un fragmento de médula rábica fresca de conejo muerto de rabia. Esta enfermedad debe tener un periodo de incubación de siete días. Diaria-

mente también se inocular debajo de la piel el contenido de una jeringa de Pravaz con el caldo esterilizado en el que se ha diluido un pequeño fragmento de una de estas médulas desecadas. Se comienza por una médula puesta a desecar bastantes días antes de esta inoculación, con el fin de asegurar que no sea virulenta. Este aspecto ha sido aclarado mediante la realización de numerosas experiencias previas. Los días siguientes se opera de la misma manera con médulas más recientes, separadas por un intervalo de dos días, hasta llegar a la última médula, la más virulenta, que sólo lleva uno o dos días en el tubo.

En este momento, el perro ya es refractario a la rabia. Se le puede inocular el virus rábico debajo de la piel o incluso en la superficie del cerebro mediante trepanación sin que se declare la rabia.

Con la aplicación de este método, había llegado a tener 50 perros de todas las edades y razas refractarios a la rabia. No había tenido un solo fracaso. El pasado lunes 6 de julio se presentaron en mi laboratorio tres personas procedentes de Alsacia. El señor Théodore Vone, tendero de ultramarinos de Meissengort cerca de Schlestadt. El 4 de julio le había mordido en el brazo su propio perro, que estaba rabioso. Joseph Meister, de nueve años, mordido también el 4 de julio a las ocho de la mañana por el mismo perro. Este niño, derribado por el animal, presentaba numerosas mordeduras en las manos, las piernas y los muslos. Algunas de ellas eran muy profundas y le dificultaban la marcha. Las principales heridas las había cauterizado con ácido fénico el doctor Weber, de Villé, tan sólo doce horas después del accidente, el día 4 de julio a las ocho de la tarde. La tercera persona, que no había sido mordida, era la madre del pequeño Joseph Meister. En la autopsia del perro, abatido por su amo, se encontró el estómago lleno de heno, paja y trozos de madera. El perro estaba muy rabioso, Joseph Meister había sido sacado de debajo del perro cubierto de baba y sangre.

El señor Vone tenía fuertes contusiones en el brazo, pero me aseguré que los colmillos del perro no le habían atravesado la camisa. Como no había nada que temer en su caso, le dije que podía volver a Alsacia ese mismo día, cosa que hizo. Quedaron conmigo el pequeño Meister y su madre.

La sesión semanal de la Academia de Ciencias tenía lugar precisamente el 6 de julio. Vi a mi colega el doctor Vulpian, a quien comenté lo sucedido. Él y el doctor Grancher, profesor de la Facultad de Medicina, me hicieron el honor de venir a ver enseguida al pequeño Joseph Meister. Entonces vieron el estado de sus heridas y contaron su número, no menos de catorce.

La opinión de ambos fue que, dada la intensidad y el número de las mordeduras, Joseph Meister enfermaría casi con seguridad de rabia.

Les comuniqué los nuevos resultados que había obtenido en el estudio de la rabia desde la lectura que realicé en Copenhague un año antes.

La muerte de este niño parecía inevitable y me decidí, no sin gran

inquietud, a probar en él el método que, con tanto éxito, había ensayado en perros.

Es cierto que mis 50 perros no habían sido mordidos antes de que yo los hiciera refractarios a la rabia, pero sabía que no debía preocuparme por ello, pues ya había obtenido el estado refractario a la rabia en gran número de perros después de una mordedura. Este mismo año había informado a los miembros de la comisión de la rabia de tan nuevo e importante progreso.

En consecuencia, el 6 de julio, a las ocho de la tarde, sesenta horas después de las mordeduras del 4 de julio y en presencia de Vulpian y Grancher, se inculó debajo de un pliegue de la piel del hipocondrio derecho del pequeño Meister, media jeringa de Pravaz con una médula de conejo muerto de rabia el 21 de junio y conservada desde entonces en un frasco con aire seco. Se había guardado, pues, durante quince días.

Los días siguientes se realizaron nuevas inoculaciones, siempre en el hipocondrio-

Realicé trece inoculaciones en diez días de tratamiento. Más tarde comentaré que hubieran sido suficientes algunas inoculaciones menos, pero es comprensible que en esta primera prueba tomará todas las precauciones posibles.

Con cada una de las médulas empleadas se inocularon dos nuevos conejos, con el fin de seguir los grados de virulencia de las mismas. Ello permitió comprobar que las médulas de los días 6, 7, 8, 9 y 10 no eran virulentas, ya que no hicieron enfermar de rabia a los conejos. Las médulas de los días 11, 12, 14, 15 y 16 de julio resultaron todas virulentas y en ellas la sustancia contagiosa se encontraba en proporciones sucesivamente crecientes. La rabia apareció a los siete días de inoculación en los conejos de los días 15 y 16 de julio; a los ocho días en los del 12 y 14; y a los quince en los del 11 de julio.

En los últimos días había inculado a Joseph Meister el virus rábico más virulento, el del perro reforzado por multitud de pases de conejo a conejo. Este virus produjo la rabia a los conejos a los siete días de incubación, y a los perros a los ocho o diez días. Lo ocurrido en los 50 perros sobre los que he hablado anteriormente, me autorizaba a realizar esta empresa.

Cuando se consigue el estado de inmunidad, se puede inocular el virus más virulento sin ningún inconveniente y en cualquier cantidad. Siempre he pensado que esto no tenía otro efecto que consolidar el estado refractario a la rabia.

Joseph Meister escapó no sólo a la rabia que le habían producido sus mordeduras, sino también a la que yo le había inculado para controlar la inmunidad producida por el tratamiento, rabia más virulenta que la del perro de la calle.

La inoculación muy virulenta final da un mayor margen de confianza, pues la rabia aparecería más deprisa después de la inoculación

de este virus que tras una mordedura. A mediados de agosto, confiaba plenamente en la futura salud de Joseph Meister. Hoy, a los tres meses y tres semanas del accidente, su salud es perfecta.

¿Cómo interpretar este nuevo método de prevención de la rabia después de una mordedura? No voy a intentar hoy responder a esta pregunta de forma definitiva. Me limitaré a algunos detalles preliminares que hagan comprender el sentido de los experimentos que realizo.

Si se estudian los métodos de atenuación progresiva de los virus mortales, la profilaxis que la misma produce y la influencia del aire en la atenuación, lo primero que cabe pensar es que al contacto con aire seco, las médulas rábicas disminuyen progresivamente su virulencia hasta que desaparece por completo. Puede pensarse asimismo que este método profiláctico se basa en el empleo, en primer lugar, de un virus sin apenas actividad, para luego utilizar virus cada vez más virulentos.

Demostraré después que los hechos no concuerdan con esa manera de pensar. Probaré que la disminución del periodo de incubación de la rabia comunicada día a día a conejos para comprobar el grado de virulencia de las médulas desecadas en contacto con el aire, se debe a una disminución en la cantidad de virus rábico en estas médulas y no a un menor grado de virulencia.

Mi interpretación de los resultados que este método produce y que he estudiado desde el punto de vista experimental es la siguiente: la inoculación de un virus, siempre de la misma virulencia, puede conseguir un estado refractario a la rabia si se emplean cantidades del mismo muy pequeñas que aumenten de día en día.

Puede darse a este nuevo método otra interpretación, que en un principio quizá resulta extraña, pero que se halla en armonía con algunos resultados ya conocidos ofrecidos por los fenómenos vitales de ciertos seres inferiores, sobre todo algunos microbios patógenos. Parece que al desarrollarse en sus cultivos, muchos de estos microbios producen sustancias que tienen la propiedad de perjudicar su propio crecimiento...

Cabe pensar que el virus rábico está formado por dos sustancias distintas, una viva que se aloja en el sistema nervioso y otra no viva que cuando alcanza una determinada proporción, detiene el crecimiento de la primera. En una próxima comunicación examinaré experimentalmente con toda la atención que merece esta tercera interpretación del método profiláctico de la rabia.

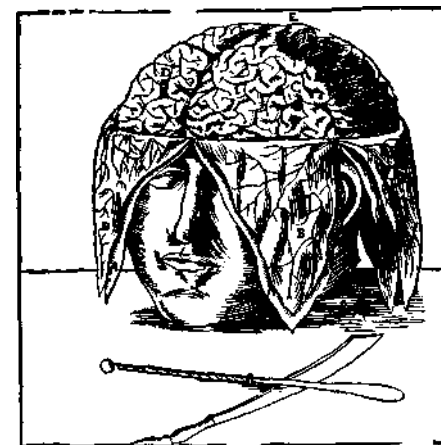
No hace falta insistir en que el problema más grave que queda por resolver es el tiempo que hay que aguardar entre la mordedura y el comienzo del tratamiento. En Joseph Meister este tiempo fue de dos días y medio, pero quizá en otros casos sea mucho más largo.

El pasado martes día 20 de octubre, con la valiosa colaboración de Vulpian y Grancher, comencé a tratar a un joven de quince años, mordido gravemente en las dos manos hacía seis días. Comunicaré a la Academia lo antes posible los resultados de este nuevo intento.

La Academia se hará cargo, no sin emoción, de la valentía y presencia de ánimo del niño a quien comencé a tratar el pasado martes. Es un pastor de quince años llamado Jean-Baptiste Jupille, de Villers-Farlay (Jura). Al ver que un gran perro de aspecto sospechoso se abalanzaba sobre seis pequeños amigos suyos, se lanzó con su látigo delante de él. El perro asió a Jupille por la mano izquierda. El muchacho derribó al animal, lo mantuvo debajo de él y le abrió el hocico con su mano derecha para liberar la otra mano, no sin antes recibir nuevos mordiscos. Después le ató el hocico con el látigo y asiéndole por una de las patas, lo mató a golpes.»

Loms PASTEUR (Dole, 1822- París, 1895). Tras estudiar en el Collège Royal de Besancon, donde obtuvo el grado de bachiller en letras (1840) y en ciencias (1842), Pasteur fue admitido (1843) en la sección científica de la École Normale Supérieure, completando sus estudios en 1845. Dos años más tarde logró el grado de doctor por la Universidad de París, con dos tesis, una de química y otra de física. En septiembre de 1848 fue designado profesor de física en el Liceo de Dijon, pero permaneció poco tiempo en aquel puesto, ya que en diciembre del mismo año fue nombrado profesor suplente de química de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Estrasburgo, pasando a catedrático titular en 1852. En 1854 se trasladó a la Universidad de Lille, la ciudad de mayor actividad industrial del norte de Francia, como decano y profesor de química de la nueva Facultad de Ciencias. En 1856 la Royal Society le otorgó la prestigiosa medalla Rumford por sus estudios de cristalografía. El año siguiente logró acceder a París, como administrador y director de la rama de ciencias de su antigua *alma máter*, la École Normale Supérieure. En 1862 fue elegido miembro de la elitista Academia de Ciencias (sección de mineralogía). En 1867 tomó posesión de la cátedra de Química Orgánica de la Sorbona.

35-36. Sobre herencias y razas (I): Lombroso y Galton



vf- **L**a historia de lo que a veces se denomina «determinismo biológico» es larga. En el mundo antiguo se recurría a la teoría galénica de los humores para argumentar que los hombres eran calientes y secos (y por consiguiente activos), mientras que las mujeres eran frías y húmedas (y por tanto pasivas). Poligenistas del siglo XVII defendieron **la idea de** que los blancos y los negros eran producto de creaciones separadas. En el siglo XIX, Hegel comparó a los hombres con los animales y **a las mujeres con las plantas**. En aquella misma centuria, los craneólogos **sostenían que** las razas del mundo podían ser clasificadas según el tamaño y la capacidad cerebral de los cráneos.

Uno de los científicos que en el siglo XIX se ocuparon de cuestiones de **este tipo**, fue Cesare Lombroso, un médico italiano que elaboró la **teoría de la criminalidad innata** más influyente que jamás produjo la tradición antropométrica. Sostenía que en todos los humanos existen aletar-

gados gérmenes procedentes de un pasado ancestral, atávico. En algunos individuos desafortunados, aquel pasado vuelve a la vida, viéndose impulsados, por su constitución innata, a comportarse como lo haría un mono o un «salvaje», cuyas conductas nuestra civilización considera criminales. Afortunadamente, podemos reconocer a estos individuos por signos anatómicos. Su atavismo es tanto físico como mental. Conductas criminales —añadía— pueden, ciertamente, darse en humanos normales, pero se reconoce al «criminal nato» por su anatomía.

Más influencia tuvo la eugenesia, movimiento científico estrechamente ligado con ideas como las de Lombroso, que tuvo al británico Francis Galton como su principal iniciador, allá por la década de 1880.

Los eugenistas creían que la mayoría de las características humanas eran hereditarias. Mantenían que no sólo los rasgos físicos, como el color de los ojos y la altura, sino también los atributos de la personalidad estaban determinados genéticamente (en un sentido mendeliano) y que para elevar el nivel de la población había que proceder poco más o menos como los ganaderos: favorecer la reproducción de los sujetos «buenos» y aminorar, o incluso detener, la reproducción de los «malos». A finales del siglo XIX y comienzos del XX, ayudado por la credibilidad que le otorgaba una presunta base científica, el programa eugenésico se extendió ampliamente, en especial por Estados Unidos y algunos países de Europa. Fue en Estados Unidos donde la fe en la genética mendeliana aplicada a los seres humanos se llevó a la práctica por vez primera: en 1907 el estado de Indiana aprobó las primeras leyes que permitían la esterilización de los enfermos mentales y criminales patológicos; a finales de la década de 1920 veintiocho estados y una provincia canadiense habían introducido legislaciones parecidas.

Fueron muchos los seres humanos que sufrieron semejantes legislaciones: algunas estimaciones dan la cifra de 50.000 personas esterilizadas en Estados Unidos. Pero tales ideas no se llevaron a la práctica únicamente por esa nación. Ya en 1892, el psiquiatra alemán August Forel había intentado justificar la esterilización de enfermos mentales como un sacrificio nacional similar al de los soldados en tiempos de guerra. Otros no se limitaron a las palabras, tomando la vía de los hechos: en 1897 Edwin Kehrler, un ginecólogo de Heidelberg, esterilizó al menos a un paciente para que no pudiese tener descendientes «inferiores». Hasta 1933, sin embargo, la esterilización fue ilegal en Alemania, aunque se produjeron algunas iniciativas: en 1914, por ejemplo, se intentó —sin éxito— pasar leyes en el Parlamento para legalizar la esterilización voluntaria. El 14 de julio de 1933, el gobierno de Hitler (que en su tristemente célebre libro, *Mein Kampf* (*Mi lucha*), escribió: «Cualquiera que no sea corporal y espiritualmente saludable y digno de consideración, no tendrá derecho

a transmitir su sufrimiento al cuerpo de sus hijos») sancionaba una «Ley para la prevención de descendencia genéticamente enferma», con la que una persona podía ser esterilizada si, en opinión de un tribunal de salud genética, sufría una serie de enfermedades «genéticas», como la debilidad de carácter, esquizofrenia, locura maniático-depresiva, epilepsia, ceguera o sordera hereditarias, o alcoholismo agudo. Según algunas estimaciones, durante el período nazi fueron esterilizadas unas 400.000 personas.

Y hubo más países. El 3 de septiembre de 1928, el cantón suizo de Waadt aprobó una ley según la cual algunos enfermos mentales podían ser esterilizados si las autoridades sanitarias determinaban que tales personas eran incurables y propensas a producir descendencia degenerada. Esta ley no se aplicó extensivamente: en 1933 se habían realizado 21 esterilizaciones. En 1929 Dinamarca fue el segundo país europeo en legalizar la esterilización. Vinieron después Noruega (1935), Finlandia (1935), Estonia (1936) e Islandia (1938). Y el proceso no se detuvo. Tras la segunda guerra mundial, algunos países latinoamericanos (Puerto Rico o Brasil, por ejemplo) llevaron a cabo importantes programas de esterilización.

Los ejemplos que he empleado, el recurso a la Alemania nazi y a las miserables y detestables ideas que sus dirigentes —Hitler a la cabeza— sostenían, a los que se podrían añadir los esfuerzos realizados en China por esterilizar a los retrasados mentales, o en la antigua Unión Soviética para relacionar la disensión política con desórdenes psiquiátricos, pueden, no obstante, deformar excesivamente la discusión del problema de la esterilización. Es conveniente, en este sentido, recordar que en la actualidad existen legislaciones, *en naciones democráticas, sometidas a la soberanía popular*, que toleran, en condiciones muy controladas, la esterilización. Pero ese es otro debate, que pertenece a otro tiempo —el nuestro—; por el momento nos encontramos en el siglo XIX, y quiero dar la palabra a Lombroso y Galton. Un único comentario: después de leer los textos que siguen sería fácil, muy fácil, pensar algo así como, «¡Qué inhumanos, eran!», «¡qué visión más limitada la suya de lo que es la vida, la educación, las oportunidades, el ambiente!». Por supuesto que sus visiones eran estrechas, pero no tanto en su época, y todos somos, no se olvide, hijos de nuestro tiempo. Yo prefiero recordarlos como científicos sinceros, aunque limitados, y en gran parte equivocados, que se esforzaban por aplicar el método científico a problemas ciertamente relevantes, como la criminalidad, la herencia, buscando no sólo mejorar nuestros conocimientos, sino también la propia humanidad. Aun así, no puedo —ni quiero— olvidar sus muchos errores, ni la tenue frontera que existe entre el deseo de mejorar la condición humana y la inhumanidad. Muchos dictadores y criminales han crecido en ese territorio.

Cesare Lombroso

Anatomía patológica de los criminales y Antropometría y fisionomía de los criminales. Tipo criminal

«Un estudio antropológico del hombre delinciente, y particularmente de aquella variedad del mismo que llamamos *delincuente nato* debe, por necesidad, partir de los primeros caracteres físicos fundamentales que se manifiestan en la mesa de disección, para pasar luego a los que se encuentran en el individuo vivo. Los datos anatomopatológicos que expondremos han sido sacados del estudio de 689 criminales.

1. CRÁNEO.— 1. La *capacidad craneana*, medida con perdigones de plomo, da por término medio cifras inferiores a las de los hombres normales, pero con un orden inverso en la serie, es decir, con un mayor número de capacidades, 1.600-2.000c.c. y de capacidades pequeñas, 1.100-1.300c.c.; por tanto, exceden a los honrados en las cifras demasiado grandes y en las demasiado pequeñas, y son siempre inferiores a ellos en las cifras medianas. Hay predominio de capacidades mínimas en los ladrones, y cuando las grandes capacidades de los delincuentes no son un efecto de la hidrocefalia, se justifican a menudo por una inteligencia mayor que la normal, como en ciertos jefes de bandidos: Minder-Kraft tenía 1.631c.c.; Pascal, 1.771; Lacenaire, 1.590.

2. En cuanto a la *circunferencia crónica*, los criminales son en las cuotas mínimas casi iguales o poco superiores a los normales; en las cuotas superiores, los ladrones no presentan cifra alguna, y los asesinos son o iguales o superiores a los normales.

También las cifras de la *semicircunferencia crónica* y las de la *posteriori*, las de la *proyección anterior*, las de los *arcos* y las *curvas craneanas*, prueban el mayor volumen del cráneo normal en comparación con el de los criminales.

Entre los *diámetros*, además del transversal y del longitudinal, que sirven para determinar el índice cefálico, es importante el *diámetro frontal mínimo*, el cual es inferior en los criminales con respecto a los normales, y más bajo en los estafadores y rateros; revela, por consiguiente, como la *semicircunferencia craneal anterior*, el menor desarrollo de la porción frontal del cerebro en los criminales...

5. La *cara* es también más grande en los criminales, gracias especialmente a la mayor altura de la misma, a la prominencia y separación de los pómulos, y no pocas veces al *prognatismo* bastante acentuado. Se mide también la cara por medio de un índice facial, que es la relación

centesimal entre la longitud y la anchura de la cara, conforme a la fórmula *l'-an-100llo*, donde *an* significa la anchura, o sea, la distancia máxima entre los pómulos, y *lo* la longitud, esto es, la distancia entre el punto supraorbital y el margen alveolar entre los dos dientes incisivos medios, superiores. Conocida es la excesiva anchura de la cara (pómulos y mandíbulas) de los locos morales, y entre los criminales, especialmente la de los homicidas, lo excesivamente corta que la tienen los cretinos, y la oblicuidad de la misma entre los epilépticos...

FISIONOMÍA DE LOS DELINCIENTES. TIPO CRIMINAL.— La presencia de todas estas anomalías, especialmente en el cráneo y en la cara, tienen por fuerza que modificar de un modo profundo la fisionomía, sobre todo cuando interesan al ojo. "Ocultad, si queréis, su cara —decía Vidocq de los criminales—, que yo los reconozco por sus ojos." Cuando se reúnen varias de estas anomalías en un mismo individuo, forman lo que yo he llamado *tipo criminal*.

1. Por eso hemos indagado Ferri y yo la frecuencia con que se presenta esta agrupación de caracteres degenerativos en los normales, comparativamente a los criminales.

Naturalmente, es posible encontrar en todos los hombres algunas anomalías aisladas; cosa muy natural, ya porque el delito no es sólo efecto de la degeneración, ya porque no todos los individuos considerados y estudiados en los caracteres físicos como normales lo son realmente; sin embargo, tales anomalías se encuentran con mayor frecuencia en los delincuentes, sobre todo varones, que en los normales.

2. Lo que verdaderamente constituye el *tipo criminal*, cosa que el público no tiene en cuenta, es la acumulación de un gran número de caracteres degenerativos en el mismo individuo, lo cual no se observa sino por excepción en el hombre normal (1 por 400) y aun en los mismos delincuentes se observa mucho más frecuentemente en la criminalidad grave que en la ligera... Es preciso, sin embargo, hacer una excepción con respecto a los delincuentes de genio y a los estafadores, los cuales tienen muy pocos caracteres criminales, lo que es natural: en los primeros, porque la manifestación genial de su criminalidad, casi siempre de estafa o de falsificación o de envenenamiento bien organizados, no es evidentemente atávica, y en los últimos porque como la fisionomía criminal suscita desconfianza, habría de hacerse imposible su especial forma de delito.

En conjunto, en la masa de criminales de diferente gravedad y forma se encuentra el *tipo criminal* en el 40 por 100, cifra ésta que representa, por tanto, la proporción de criminales natos.

3. Por lo demás, cada especie de delito tiene a su tipo particular. Así, en general, los *ladrones* tienen una movilidad notable de la cara y

de las manos; el ojo pequeño, errante, móvilísimo, a menudo oblicuo; las cejas pobladas y juntas; la nariz torcida y chata; escasez de barba, no siempre espesa la cabellera; la frente casi siempre pequeña y huida. Tanto los ladrones como los estupradores, tienen a menudo el pabellón de la oreja inserto en forma de asa.

Los *estupradores* casi siempre tienen el ojo centelleante, la fisonomía delicada, menos en el desarrollo de las mandíbulas, los labios gruesos, los cabellos abundantes, la voz a menudo ronca; la mayoría de las veces son individuos delicados y jorobados; son a veces semiimpotentes y semienajenados; tienen la nariz y los órganos genitales mal conformados, sufren a menudo de hernias y de bocio, y no pocas veces son de edad avanzada...

Los *homicidas habituales* tienen la mirada vidriosa, fría, inmóvil, a veces sanguínea e inyectada; la nariz, con frecuencia aguileña, curva o, mejor, semejante al pico de las aves de rapiña, y siempre voluminosa; robustas las mandíbulas, largas las orejas, anchos los pómulos; crespos, abundantes y oscuros los cabellos; con gran frecuencia, la barba escasa, dientes caninos muy desarrollados, labios finos; se encuentran a menudo en ellos el nistagmo y las contracciones unilaterales de la cara, que hacen descubrir los dientes caninos como a manera de guiño y de amenaza.»

CESARE LOMBROSO (Verona, 1835- Turín, 1909). Estudió medicina en Pavía, Padua y Viena, doctorándose en la primera con un estudio sobre el cretinismo. Cirujano militar en 1859, fue nombrado en 1862 profesor de enfermedades mentales en Pavía, y en 1871 director del manicomio de Pesaro. Más tarde ocupó la cátedra de Psiquiatría de Turín.

Francis Galton

Inquiries into Human Faculty and its Development (1883) (*Investigaciones sobre la facultad humana y su desarrollo*)

«La delincuencia no es muy vanada en su desarrollo, pero sí es extremadamente compleja en su origen; sin embargo, los mejores autores que han tratado el tema llegan a algunas conclusiones, como lo hace Prosper Despine, uno de los más instructivos. El delincuente tipo tiene una peculiaridad de carácter muy marcada, su conciencia es casi deficiente, sus instintos son viciosos, su poder de autocontrol es muy débil y generalmente detesta el trabajo estable. La ausencia de autocontrol se debe a un temperamento ingobernable, a la pasión o a la mera imbecilidad, y las condiciones que determinan la descripción particular de un delito son el carácter de los instintos y el de la tentación.

La deficiencia de conciencia de los delincuentes, que se demuestra por la ausencia de auténtico remordimiento por sus culpas, asombra a todos los que por primera vez conocen los detalles de la vida de la prisión. Es muy difícil que alguna vez se sea testigo de una escena de angustiosa desesperación; su sueño no está alterado por inquietos sueños, sino que por el contrario es tranquilo y saludable; tienen incluso un excelente apetito. La hipocresía es un vicio muy común y toda mi información concuerda en afirmar la total falta de sinceridad de todos los delincuentes, por más plausibles que puedan ser sus afirmaciones.

Debemos evitar el considerar a los instintos viciosos como perversiones, puesto que ellos deben estar en estricto acuerdo con la saludable naturaleza del hombre y, siendo transmisibles por herencia, pueden convertirse en las características normales de una raza saludable, así como el perro pastor, el perdigero, el pointer y el bulldog tienen instintos diferentes. No podría encontrarse un error popular de mayores dimensiones que el suponer que el instinto natural es una guía perfectamente fiable, puesto que se producen frente a esta opinión sorprendentes contradicciones al considerar los individuos de cualquier especie animal. Lo máximo que, en todo caso, podría decirse es que se puede confiar en los instintos que prevalecen en cada raza, pero no en los de cada individuo. Pero incluso esto es mucho decir, porque cuando, por ejemplo, han cambiado recientemente las condiciones de vida de una raza, algunos instintos que se habían adaptado al viejo estado de cosas serán, seguramente, falaces guías para conducirse en la nueva situación... El delincuente tipo es, desgraciadamente para él, deficiente en las cualidades

y
"-i-

1-1

capaces de controlar sus despiadados e incómodos instintos; no tiene ni compasión por los demás ni sentido del deber, siendo ambos aspectos parte del fundamento de la conciencia; ni tiene suficiente autocontrol como para adaptarse a la sociedad en la que debe vivir, y por lo tanto para promover sus propios intereses egoístas a largo plazo. No puede evitar su desgracia criminal ni por medio de los sentimientos más altruistas, ni por los más inteligentemente egoístas.

La perpetuación hereditaria de la clase criminal es una cuestión difícil de resolver. Sus hábitos vagabundos, sus uniones ilegítimas y su extrema insinceridad son parte de las dificultades de la investigación. Sin embargo, es fácil demostrar que la naturaleza criminal tiende a ser heredada; pero, por otro lado, es imposible que mujeres que pasan gran parte de sus mejores años en prisión puedan contribuir con muchos niños a la población. El verdadero *quid* de la cuestión parece estar en que la población delincuente recibe aportaciones consistentes de los que, sin tener naturalezas delincuentes muy marcadas, pertenecen, sin embargo, a un tipo de humanidad extremadamente indaptada como para jugar un papel respetable en nuestra moderna civilización, aunque está bien dispuesta para florecer en condiciones semisalvajes, ya que son naturalmente saludables y prolíficos. Son personas aptas para el mal; sus hijas se casan con delincuentes y se convierten en madres de delincuentes. Un ejemplo extraordinario es la historia de la infame familia Jukes de América, cuyo historial ha sido reconstruido con extraordinario cuidado durante no menos de siete generaciones, y es materia de una elaborada memoria impresa en el *Thirty First Annual Report* de la Asociación de Prisiones de Nueva York en 1876. Incluye no menos de 540 individuos de sangre Jukes, de los cuales un número tremendo se degradó hasta la delincuencia, el pauperismo o la enfermedad.»

No se limitaba Galton a los delincuentes. De hecho, a continuación pasaba a los epilépticos, que, eso sí, ligaba con aquellos: «Las clases delincuentes contienen una considerable proporción de epilépticos y otras personas de temperamento inestable y emocional sujeto a explosiones nerviosas.» Y de ahí a los locos sólo había un paso: «La locura se asocia a menudo con la epilepsia; en todo caso es una desfiguración horrible y hereditaria de la humanidad.» Rasgos todos, como vemos, hereditarios, según Galton. Y entonces llegaba la gran pregunta: ¿Qué hacer? He aquí su opinión, tal y como aparece en las conclusiones de su trabajo:

«La cuestión que entonces surge es la forma en que el hombre puede prestar ayuda al orden de las cosas. Y yo replico que favoreciendo el

curso de la evolución. El hombre puede utilizar su inteligencia para descubrir y facilitar los cambios necesarios para adaptar las circunstancias a la raza y la raza a las circunstancias, y su amable comprensión le incitará a hacerlo misericordiosamente.

Cuando se comienza a investigar, quizá con algunos recelos, sobre la posibilidad de que el hombre tenga actualmente poderes como para influir sobre la calidad de la humanidad futura, se descubre muy pronto que su influencia pasada en este sentido ha sido, realmente, muy grande. Ha sido ejercida hasta ahora buscando otros fines que los que ahora se contemplan, como la conquista o la emigración, y por medio de condiciones sociales cuyos efectos sobre las razas eran imperfectamente predecibles. No cabe duda, además, de que también hay muchas formas de influencia grandes y poderosas que no han sido utilizadas hasta ahora. No me he preocupado de descender a los detalles en esta cuestión, sino que me he limitado a unas pocas pero amplias consideraciones, como el demostrar cuánto se afecta el equilibrio de la población a causa de los matrimonios tempranos que se producen en algunas de sus clases, y señalar la gran influencia que ha tenido el control de matrimonios de los monjes y eruditos sobre las dotaciones, y por lo tanto la aún mayor influencia que sería de esperar tuviera si estuviera dirigido, no a obstruir, sino a armonizar con las inclinaciones naturales, promoviendo los matrimonios tempranos de los integrantes de las clases que se quiere favorecer. Mostré también que debe surgir una poderosa influencia en este sentido, a partir de un reconocimiento público del verdadero valor de la probabilidad de una actuación futura basada en la actuación pasada de los ancestros del niño. Es un elemento de predicción que se agrega al mérito personal actual, que debe ser evaluado y reconocido todavía. Su reconocimiento puede atraer ayudas de varios tipos, imposibles de especificar ahora, para las jóvenes familias de aquellos que parecen tener más posibilidad de aprovisionar al mundo de ciudadanos sanos, morales, inteligentes y honrados. El torrente de la caridad es limitado, y para acelerar la evolución hacia una humanidad más perfecta, un requisito es que se distribuya para favorecer las razas mejor adaptadas. No he hablado de la represión del resto porque supongo que se sigue indirectamente de lo dicho; pero debo decir que nadie podría hacer nada mejor por su país que tomar la determinación de vivir en celibato, cuando se tenga la convicción razonable de que la descendencia estaría peor adaptada que la mayoría para jugar su papel como ciudadano.

Sería fácil engrosar el número de posibles factores que permitieran acelerar la evolución hacia una humanidad superior, pero es prematuro hacerlo hasta que no esté bien establecida en la mentalidad popular la importancia de preocuparse por el perfeccionamiento de la raza, y que sea posible que una discusión sobre el asunto sea tomada en consideración.

Es innecesario insistir en que debe tenerse en cuenta siempre la realidad de nuestro imperfecto conocimiento sobre las limitaciones y condiciones de la transmisión hereditaria; pero debo llamar nuevamente la atención sobre la seria necesidad de conseguir materiales de estudio en la forma de historiales personales. Afortunadamente se da el caso de que muchos de los médicos que están surgiendo ahora, de los de primera línea, están muy impresionados por la importancia de tener tales documentos, y no sólo para un mejor conocimiento de la teoría de la enfermedad, sino para ventaja personal de sus pacientes, a los que ahora tienen que tratar peor de lo que podrían por su ignorancia de las tendencias hereditarias y de sus enfermedades pasadas, ya que los detalles médicos son difícilmente recordados por los pacientes, incluso cuando los conocen. Con la ayuda de un motivo personal tan poderoso para guardar historias personales, y por lo tanto con la ayuda de un cuerpo tan potente como el de la profesión médica para abogar por su realización y para enseñar la forma de hacerlas, surge una considerable esperanza de que se vaya llenando gradualmente ese vacío de materiales al que hemos aludido.

Para resumir en pocas palabras. El resultado principal de estas investigaciones ha sido el de extraer el significado religioso de la doctrina de la evolución. Produce una alteración en nuestra actitud mental y nos impone un nuevo deber moral. La nueva actitud mental es la de un mayor sentido de libertad moral, responsabilidad y oportunidad; el nuevo deber que se impone debe ejercerse en concurrencia y no en oposición a los viejos, de los que depende la antigua construcción social, y consiste en el esfuerzo por favorecer la evolución, especialmente la de la raza humana.»

FRANCIS GALTON (Sparkbrook, Birmingham, 1822- Haslemere, Surrey, 1911). Estudió medicina en Birmingham y Londres, y matemáticas en Cambridge, aunque no llegó a completar ninguno de estos estudios universitarios, que abandonó al heredar la considerable fortuna de su padre. Se dedicó a las investigaciones hereditarias y eugenésicas, por las que es más conocido, estimulado por la lectura de *El origen de las especies* de Charles Darwin, de quien era primo. Su libro más importante e influyente es *El genio hereditario* (1869).

Matemáticas, política y nacionalismo: Echegaray



Si yo no fuese español, casi con toda seguridad esta entrada no figuraría en la presente antología. Pero lo soy, y soy, además, uno de los no muy numerosos que saben que José Echegaray tuvo algo **que** ver con la ciencia española; que fue algo más que un dramaturgo (galardonado, por cierto, y para irritación de muchos de sus contemporáneos, con el premio Nobel de Literatura de 1904) y político, que llegó a **ocupar** las carteras de Fomento y Hacienda, además de ser el fundador del **Banco** de España en su forma actual.

Echegaray tuvo que ver, en efecto, con la ciencia española: ingeniero de Caminos, su verdadera vocación fue la matemática. En este sentido, en sus *Recuerdos* (1913-1915) señaló: «Las Matemáticas fueron, y **son**, una de las grandes preocupaciones de mi vida; y si yo hubiera sido **rico o lo** fuera hoy, si no tuviera que ganar el pan de cada día con el trabajo diario, probablemente me hubiera marchado a una casa de campo muy

alegre y muy confortable, y me hubiera dedicado casi exclusivamente al cultivo de las Ciencias Matemáticas. Ni más dramas, ni más argumentos terribles, ni más adulterios, ni más suicidios, ni más duelos, ni más pasiones desencadenadas, ni, sobre todo, más críticos; otras incógnitas y otras ecuaciones me hubieran preocupado.»

Aun así, y sin aportar nada original a la disciplina que amaba, Eche- garay dio bastante a la matemática y a la física matemática (también a la tecnología) de su patria: introdujo teorías como la de los determinantes o la de Galois; después de recibir el premio Nobel, el Gobierno le ofreció la cátedra de Física Matemática de la Universidad Central, en Madrid, que Eche- garay, que entonces tenía setenta y tres años, aceptó, siendo todavía capaz de dictar (y publicar los volúmenes correspondientes) diez cursos completos.

No es sorprendente que fuera nombrado miembro de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid. De su discurso —que hizo época— de entrada en aquella corporación, pronunciado el 11 de marzo de 1866, he seleccionado unos pocos pasajes. En ellos se observa otra dimensión de la actividad científica, que hasta el momento no nos había aparecido. Y es que Eche- garay aprovechó aquella solemne oca- sión para alzar su voz ante el atraso científico español, para él claramente ligado a causas políticas. Su exposición constituyó un grito, un dramá- tico grito (aunque no siempre apoyado en datos incontrovertibles), en favor del valor de la ciencia, y de lo necesario que era —y que sigue sien- do— que España identificase los motivos del retraso científico que pa- decía, para poder ser así una nación más moderna y desarrollada, y en consecuencia más libre también.

Historia de las matemáticas puras en nuestra España (1866)

«Gran siglo, sí, para Europa el siglo XVII; mas, ¿qué ha sido para nues- tra España? ¿Qué descubrimiento analítico, qué verdad geométrica, qué nueva teoría lleva nombre español? ¿Quiénes los rivales de Viete, de

Fermat, de Pascal, de Descartes, de Harriot, de Barrow, de Brouncker, de Wallis, de Newton, de Huygens, de Gregorio de San Vicente, de Leib- niz, de los Bernoulli? Yo los busco con ansia en los anales de la ciencia, y no los encuentro; paso impaciente de una a otra historia, por si hallo al fin, en alguna, reparación al desdeñoso e irritante olvido en que to- das nos dejan; y en todas ellas, bien que se eche de ver la nacionalidad del escritor por las cariñosas predilecciones que a sus compatriotas muestra, aparecen los nombres de Francia, Italia, Inglaterra, Alemania, Bélgica, Flandes y Holanda, y en todas se paga tributo de respeto y ad- miración a los grandes geómetras; pero en ninguna encuentro a nues- tra España. Y cierro con enojo historias extranjeras, y a historias na- cionales acudo, esperando siempre hallar lo que jamás por desgracia encuentro.

Abro la Biblioteca Hispana de D. Nicolás Antonio, y en el índice de los dos últimos tomos, que comprenden del año 1.500 al 1.700 próxi- mamente, tras muchas hojas llenas de títulos de libros teológicos y de místicas disertaciones sobre casos de conciencia, hallo al fin una pági- na, una sola, y página menguada, que a tener vida, de vergüenza se en- rojecería, como de vergüenza y de despecho se enrojece la frente del que, murmurando todavía los nombres de Fermat, de Descartes, de Newton, de Leibniz, busca allí algo grande que admirar, y sólo halla li- bros de cuentas y geometrías de sastres.

Cuánto me duele, señores, pronunciar frases tan duras, no hay para que encarecerlo, que todos los que me oigan lo comprenderán por la pe- nosa impresión que en ellos causen; mas la verdad nunca debe ocultar- se, y si alguna vez arranca al alma un grito de dolor, ¿qué importa? Es el enrojecido hierro que muerde en la sangrienta llaga, es el provecho- so dolor del cautiverio purificador de vieja podredumbre.

Si en el siglo XVII no hemos tenido grandes geómetras, causa sin duda habrá para ello, y nos importa investigar cuál pueda ser, para pre- venir en lo futuro males que todos debemos deplorar; no es sin embar- go mi ánimo escudriñarla hoy, porque estudio sería este que me lleva- ría demasiado lejos, pues tal vez en ciencias muy distintas de aquellas a las que esta Academia consagra sus tareas, habría de buscarse la solu- ción de este importante fenómeno histórico.

Basta para mi objetivo consignar el hecho, y recomendarlo a la meditación de los hombres pensadores. Y cuenta, señores, que causa, y causa externa ha existido; porque suponer en nuestra España inca- pacidad radical y congénita, verdadera impotencia de raza para el es- tudio de las matemáticas puras, sería grande injusticia y audaz calum- nia al genio poderoso y fecundo de este noble suelo. La patria de tantos y tan admirables artistas, de filósofos tan profundos y de tan ilustres pensadores; la patria de Núñez, de Omerique y de D. Jorge Juan, no es digna de tal afrenta; raza en la que la valentía del pensamiento, el vue- lo de la imaginación, la fuerza del querer, llegan al extremo a que en

nuestra raza han llegado, no es, no debe ser impotente para una ciencia que sólo estas humanas facultades y no otras sobrenaturales energías requiere. Y pues no nos ha sido dado alcanzar en la ciencia de Descartes y de Newton glorias que hemos recogido abundantemente en otros ramos del saber, contra algún obstáculo se habrá estrellado sin duda el genio nacional, e importa mucho conocerlo, repito, para evitarlo en lo futuro, si ya desapareció, para acabar de destruirlo si aún quedan restos, para que llegue al fin el día en que se borre la mancha que en el siglo XVII, siglo del despotismo y de la inteligencia, cayó sobre nuestra historia.

Mancha, y mancha vergonzosa repito, porque no basta que un pueblo tenga poetas, pintores, teólogos y guerreros; sin filósofos y sin geómetras, sin hombres que se dirijan a la razón, y la eduquen y la fortifiquen y la eleven, la razón al fin se debilita, la imaginación prepondera y se desborda, hasta el sentimiento religioso se estanca y se corrompe: y si por un vigoroso esfuerzo, pueblo que a tal punto llegue no restablece el armónico equilibrio que entre las facultades del alma humana debe siempre existir, morirá, como mueren los pueblos que se corrompen y se degradan, y hasta aquello mismo que fue en otro tiempo su gloria, será en sus postreros instantes su vergüenza y su tormento.

... Si, prescindiendo de aquellos siglos en que la civilización arábiga hizo de España el primer país del mundo en cuanto a ciencia se refiere, sólo nos fijamos en la época moderna, y comenzamos a contar desde el siglo XV, bien comprendéis que no es esta, ni puede ser esta en verdad, la historia de la ciencia en España, porque mal puede tener historia científica, pueblo que no ha tenido ciencia. La imperfecta relación que habéis oído, es resumen histórico de la ciencia matemática, sí; pero en Italia, en Francia, en Inglaterra, en Holanda, en Alemania, en Suiza, que es donde renace la geometría, donde se crea el álgebra, la geometría cartesiana, la teoría de ecuaciones, el análisis algebraico, la teoría de los números, los cálculos del infinito, el análisis indeterminado, el cálculo combinatorio, la moderna geometría trascendente y la teoría de las curvas: es la historia de la ciencia allá donde hubo un Viete, un Descartes, un Fermat, un Harriot, un Wallis, un Newton, un Leibniz, un Lagrange, un Cauchy, un Jacobi, un Abel; no es la historia de la ciencia, aquí donde no hubo más que látigo, hierro, sangre, rezos, braseros y humo.

Y yo he tenido que referir la historia de las matemáticas, *allá*, para probar que no la hay *aquí*, y para probarlo, señores, con la elocuente voz de los hechos, demostración ruda pero firmísima, contra la cual se estrellan impotentes, sofismas, alharacas y declamaciones, he necesitado buscar la filiación de cada verdad, el origen de cada teoría, el nacimiento de cada idea, el autor de cada descubrimiento, y después los hombres que desarrollan y perfeccionan aquellos descubrimientos y teorías, for-

mando de esta suerte la ciencia moderna en toda su magnífica riqueza; y he necesitado todo esto para poder decir sin remordimiento y sin temor: *la ciencia matemática nada nos debe: no es nuestra; no hay en ella nombre alguno que labios castellanos puedan pronunciar sin esfuerzo.*»

JOSÉ ECHEGARAY Y EIZAGUIRRE (Madrid, 1832- Madrid, 1916). Ingeniero de Caminos (número 1 de su promoción, 1853). Dramaturgo célebre y político distinguido, fue profesor en la Escuela de Caminos y catedrático de Física Matemática en la Universidad de Madrid. Entre sus obras matemáticas figuran textos como: *Introducción a la geometría superior* (1867), *Memoria sobre la teoría de las determinantes* (1868), *Disertaciones matemáticas sobre la cuadratura del círculo, el método de Wantzel y la división de la circunferencia en partes iguales* (1887), *Resolución de ecuaciones y teoría de Galois* (1897) y *Conferencias sobre física matemática*, 10 vols. (1906-1915).

38. Los reflejos condicionados: Pávlov



Las ideas generales sobre los reflejos condicionados» —escribió en 1929 Gregorio Marañón — «pertenecen a aquella categoría de verdades que merced a su propia excelsitud se incorporan al pensamiento universal y circulan de mente en mente, liberadas hasta del nombre de su autor». En este caso, el autor era Iván Petrovich Pávlov, un nombre, un gran científico, que, efectivamente, solemos ligar únicamente —en nuestra ignorancia— a «los reflejos condicionados», una expresión que, bajo su aparente transparencia, oculta términos más precisos, como la fisiología de la digestión y la fisiología del comportamiento.

Pávlov fue, no lo olvidemos, un gran fisiólogo, participante eminente —junto a personajes de la talla de Müller, Virchow, Helmholtz, Du Bois-Reymond, Ludwig o Brücke— en aquella magnífica empresa colectiva que a lo largo de todo el siglo XIX hizo de la fisiología una disciplina auténticamente científica y uno de los motores más importantes

para el avance de la medicina. De hecho, la carrera de Pávlov cubrió un amplio espectro de la fisiología, mucho más amplio de lo que sugieren las investigaciones que le dieron fama. En este sentido, su carrera se puede dividir en tres apartados, en los que se dedicó a: la fisiología de la circulación de la sangre (1874-1888), la fisiología de la digestión (1879-1897), y la fisiología del cerebro y la actividad nerviosa superior (1902-1936).

Pero no podemos olvidar, claro está, los trabajos que más fama le dieron, aquellos que hicieron que su nombre sea conocido por «» extensas capas de la población: los de los reflejos condicionados, concepto que expuso de manera pública por primera vez en Madrid, durante el Congreso Internacional de Medicina que se celebró en el año 1903. Afortunadamente, disponemos del texto de aquella conferencia, del que he seleccionado los párrafos siguientes.

«Eksperimentalnaya psikhologiya i psikhopatologiya na zhivotnykh» («Psicología y psicopatología experimentales en los animales») 1903

«Voy a detenerme sólo en una parte de nuestros datos: los experimentos efectuados sobre las glándulas salivares, que son órganos de un papel fisiológico aparentemente muy restringido pero que van a ser —estoy convencido de ello— objeto clásico de estudio en el terreno de nuevas investigaciones, de las que tengo el honor de exponer hoy los primeros intentos, en parte logrados y en parte en estado de proyecto.

Al observar la actividad normal de las glándulas salivares no puede dejar de sorprendernos su elevado grado de adaptación funcional. Dad al animal alimentos sólidos y secos: segrega una gran cantidad de saliva. Dadle un alimento rico en agua: segregará menos.

Evidentemente, la degustación química de los alimentos, su masticación y la formación del bolo alimenticio exigen la presencia del agua que proporcionan las glándulas salivares. Las glándulas submaxilares producen una secreción que actúa sobre todos los alimentos, una saliva rica en mucina, lubricante que facilita el paso del alimento al estómago. También se segrega saliva por acción de sustancias químicas irritantes, como los ácidos, las sales, etc. La cantidad y composición de la saliva dependen del grado de irritación provocado por esas sustancias. Se trata, en realidad, de neutralizarlas y diluirlas, de limpiar la boca, como lo demuestra, en nosotros mismos, la experiencia cotidiana. En estos casos las glándulas salivares segregan una saliva acuosa, pobre en

mucina ¿Para qué servirá ésta en tales circunstancias? Si se introducen en la boca de un perro unos guijarros limpios de cuarzo insoluble, el animal los lleva de un lado a otro de su cavidad bucal, trata a veces de masticarlos y, finalmente, los escupe. En este caso no hay secreción de saliva o, como máximo, se segregan una o dos gotas. De hecho: ¿para qué servirá la saliva? Introduzcamos ahora arena, es decir, los mismos guijarros limpios pero de menor tamaño, en forma más fragmentada. El animal segregará mucha saliva. Es fácil comprender que sin ésta en la cavidad bucal la arena no podría ser expulsada ni tampoco tragada.

Nos encontramos aquí, por consiguiente, ante hechos exactos y consiantes que parecen demostrar la existencia de una especie de discernimiento cuyo mecanismo es, sin embargo, muy claro. En efecto: la fisiología dispone desde hace mucho tiempo de datos sobre los nervios centrífugos de las glándulas salivares, que unas veces hacen segregarse una saliva rica en agua y otras la hacen enriquecerse con sustancias orgánicas especiales. Por otra parte, la pared interna de la boca presenta lugares de una irritabilidad especial para distintos estímulos (mecánicos, químicos o térmicos). Estas distintas clases de irritabilidad se subdividen a su vez. Por ejemplo, la química puede sensibilizar a los ácidos, a las sales, etc. Lo mismo puede suponerse en lo referente a la irritabilidad mecánica. De cada una de estas regiones, dotadas de una irritabilidad específica, salen nervios centrípetos especiales.

En consecuencia, las relaciones de adaptación están basadas en un simple reflejo originado por unas condiciones externas definidas que actúan tan sólo en ciertas clases de terminaciones de nervios centrípetos, desde donde la excitación se propaga hacia el centro por una vía nerviosa apropiada, y desde allí, por un camino también apropiado, se dirige a la glándula en la que provoca su función específica.

Dicho en otros términos: es una influencia exterior específica que provoca una reacción concreta de la materia viva. Estamos frente a un ejemplo típico de lo que se llama adaptación o conformidad a un fin. Prestemos atención a estos hechos y a estos términos, que tienen un papel definitivo e importante en el pensamiento fisiológico contemporáneo. ¿Qué es, exactamente, la adaptación? De lo dicho anteriormente concluiremos que es una exacta coordinación entre los elementos de un sistema complejo, y también entre el conjunto de este sistema y el medio ambiente.

Lo mismo podemos observar en cualquier cuerpo inanimado, por ejemplo, un cuerpo químico complejo. Este cuerpo subsiste gracias al perfecto equilibrio existente entre sus átomos y los grupos de átomos y, asimismo, al equilibrio entre su conjunto y las condiciones externas.

De igual modo, los organismos superiores o inferiores sólo pueden existir como un conjunto en su grandiosa complejidad cuando sus partes constituyentes están estrecha y exactamente coordinadas y equilibradas entre sí y con las condiciones del medio ambiente. El análisis de

las condiciones de equilibrio de un sistema es el trabajo más importante, el fin de las investigaciones puramente objetivas... Desgraciadamente, todavía carecemos de un término rigurosamente científico para designar este principio fundamental de la actividad del organismo: su equilibrio interno y externo...

En los experimentos sobre las glándulas salivares ya relatados nos mantenemos en los límites de las investigaciones rigurosamente biológicas. Prosigamos nuestra exposición y pasemos al dominio de unos fenómenos aparentemente muy distintos.

Todos los objetos que hemos citado anteriormente como estimulantes de las glándulas salivales en la boca, continúan ejerciendo la misma función —por lo menos en el aspecto cualitativo— cuando están a cierta distancia del perro... El animal ve, oye y olfatea estas sustancias, y se lanza a ellas si son comestibles, pero se aparta y se opone a la introducción de las mismas en su boca cuando le son desagradables. Ante estos hechos, hay que reconocer que se trata de una reacción psíquica: la estimulación psíquica de la función de las glándulas salivares del animal.

¿Qué ha de hacer el fisiólogo con estos datos? ¿Cómo definirlos? ¿Cómo analizarlos? ¿Qué representan en comparación con los datos fisiológicos? ¿Qué hay de común entre ambos? ¿Debemos penetrar en el estado interior del animal y representarnos a nuestro modo sus sensaciones, sentimientos y deseos para llegar a la comprensión de estos nuevos hechos?

En mi opinión, el naturalista no puede dar más que una respuesta a esta última pregunta: un "no" categórico.

¿Dónde hallaremos un criterio más o menos discutible, pero justo? ¿Podemos comparar —para lograr un mayor conocimiento de los hechos— el estado interior de un animal, aunque sea tan altamente evolucionado como el perro, con el nuestro? ¿No es un hecho lamentable, repetidas veces comprobado, que la mayor parte de la gente no se comprende, no puede ponerse en la situación de los demás? ¿Nos permiten nuestros conocimientos reproducir con seguridad y exactitud el estado interior de otro ser?

En nuestras experiencias psíquicas... sobre las glándulas salivares empecemos por intentar explicar concienzudamente los resultados obtenidos, dando rienda suelta a nuestra imaginación acerca del estado subjetivo posible del animal. No obtuvimos más que discusiones estériles y algunas opiniones personales aisladas e incompatibles. No nos quedaba otro camino que el de proseguir nuestros experimentos dentro de un terreno puramente objetivo, proponiéndonos, como trabajo de máxima urgencia e importancia, abandonar la tendencia natural a referir el mecanismo reactivo del animal a nuestro estado subjetivo; era necesario encontrar las relaciones entre los fenómenos externos y la reacción del organismo, es decir, el trabajo de las glándulas salivares...

A mí me parece que el buen camino se encuentra en la comparación de los siguientes hechos. En el fenómeno fisiológico la actividad de las glándulas salivares está ligada a las propiedades de la sustancia sobre las que recaerá la acción de la saliva. Ésta humedece lo seco, lubrica la masa que ha de deglutirse, neutraliza la acción química de las sustancias. Estas propiedades son de hecho estímulos especiales que obran sobre la mucosa oral, específicamente sensible. Por consiguiente, en la experiencia fisiológica el animal es excitado por propiedades esenciales, incondicionadas, del agente, en relación con el papel fisiológico de la saliva.

En los experimentos psíquicos, el animal es estimulado por propiedades del objeto exterior, sin importancia para las glándulas salivares y, a veces, completamente accidentales. Las propiedades lumínicas, acústicas e incluso las puramente aromáticas de nuestros objetos, cuando están presentes en otros distintos no ejercen por sí mismas ninguna influencia sobre las glándulas salivares que, por decirlo de alguna manera, no hayan tenido previamente relaciones interesadas con ellas. En los experimentos psíquicos, las glándulas salivares son estimuladas, no solamente por las propiedades de los objetos no esenciales para el funcionamiento de las glándulas, sino por absolutamente todas las condiciones que rodean a estos objetos o que están conectadas con ellos de una forma u otra; el recipiente donde se ponen los alimentos, la habitación o el lugar donde se realiza el experimento, las personas que sirven la comida, los ruidos que éstas hacen (incluso cuando no son visibles), sus voces, el ruido de sus pasos, etc. Así pues, en los experimentos psíquicos, las conexiones con los factores que excitan las glándulas salivares van siendo cada vez más lejanos y sutiles. Tenemos aquí, sin duda, un fenómeno de adaptación a distancia. Admitamos que, en este caso, una relación tan distante y compleja como la que existe entre los ruidos de los pasos de una persona que habitualmente alimenta al animal y la excitación de las glándulas no ofrece otra importancia fisiológica concreta que su gran precisión. Pero bastará con que nos imaginemos el caso de un animal cuya saliva contenga un veneno defensivo, para apreciar la gran importancia vital de esta preparación preventiva como medio de defensa contra un enemigo que se acerca. La importancia de los signos a distancia de objetos que producen una reacción motora en el organismo es, desde luego, fácilmente reconocible. Gracias a estas señales lejanas, e incluso a veces accidentales, el animal puede encontrar alimento, escapar del enemigo, etc.

Llegados a este punto, el centro de gravedad de nuestro estudio se desplaza hacia la siguiente pregunta: ¿Es posible reducir el aparente caos de relaciones a sus límites precisos, hacer que los fenómenos sean constantes y descubrir sus leyes y mecanismos? Los ejemplos que voy a relatarlos creo que me autorizan a responder con un *sí* categórico. También nos permiten hallar, en la base de estos experimentos psíquicos, el

mismo reflejo específico como mecanismo fundamental y constante. En su forma fisiológica —salvo en casos extraordinarios— nuestro experimento dará siempre el mismo resultado: un reflejo incondicionado. El rasgo característico fundamental del experimento psíquico es su inconstancia, su apariencia caprichosa. Sin embargo, es posible reproducir el resultado del experimento psíquico. De no ser así resultaría inoportuno ocuparnos de él aquí. Todo el problema reside en el mayor número de condiciones que se requieren, en este caso, en comparación con el del experimento fisiológico. Se trata, ahora, de un reflejo condicionado.»

IVÁN PETROVICH PÁVLOV (Riazán, 1849- Leningrado, 1936). Destinado inicialmente a seguir los pasos de su padre, sacerdote ortodoxo local, Iván Petrovich Pávlov abandonó el seminario en 1870 para seguir estudios de química y fisiología en la Universidad de San Petersburgo, ciudad en la que también se doctoró. En 1875 se matriculó en el tercer curso de la Académica Médico-Quirúrgica, con la idea, como expresó en su autobiografía, «no de convertirme en médico, sino con la de que obteniendo el título de doctor en medicina, podría intentar lograr una cátedra de Fisiología». Entre 1884 y 1886 estudió fisiología cardiovascular y gastrointestinal con Karl Ludwig en Leipzig y con **Rudolf** Heidenhain en Breslau. En 1890 fue nombrado titular de la cátedra de Farmacología de la Academia Médica Militar de San Petersburgo, puesto que compatibilizó con la dirección —para la que fue designado un año después— de la sección de fisiología del recién fundado Instituto de Medicina Experimental. Al quedar vacante en 1895 la cátedra de Fisiología de la Academia Médica Militar, Pávlov pasó a ocuparla. En **1904** obtuvo el premio Nobel de Fisiología, en, de acuerdo con el anuncio de la Academia sueca, «reconocimiento a sus trabajos en la fisiología de la digestión, mediante los cuales se ha transformado y ampliado el conocimiento de aspectos vitales de ese campo». La llegada del régimen soviético no acarrió ningún problema para Pávlov, más bien todo lo contrario, en tanto que él mismo se esforzó por manifestar su apoyo a la nueva situación. De hecho, terminó siendo director de tres centros: la sección de Fisiología del Instituto de Medicina Experimental, el Instituto de Fisiología de la Academia de Ciencias de la Unión Soviética y la Estación Biológica de Koltuchi (tras su muerte, Instituto Pávlov), creada expresamente para él.

39. El descubrimiento de la «célula del pensamiento»: Cajal



Ya nos hemos encontrado, de la mano de José Echegaray, con el «problema de la ciencia española». Conviene recalcar, sin embargo, que no ha sido España una nación completamente ajena a la ciencia; entre otros motivos, porque semejante extrañamiento habría sido poco menos que imposible para un país con su historia (y necesidades). Sí es cierto, no obstante, que los logros científicos de altura han sido pocos, que la historia de la ciencia española está plagada de dificultades y penurias, y que no abundan, como insistía Echegaray, los nombres de científicos de talla mundial, aquellos cuyo recuerdo —y obra— perdura a través del tiempo y el espacio. Santiago Ramón y Cajal es, sin duda, la luz surgida de territorio hispano que más brilla en el firmamento de la ciencia universal. A aquel apasionado aragonés, tan genial como tenaz, le debemos nada más y nada menos que el modelo vigente de la estructura del sistema nervioso y los mecanismos básicos de su funcionamiento; en

concreto, la identificación de la neurona como unidad discreta, como la **célula** nerviosa que transmite información rápidamente entre partes diferentes del cuerpo (como el cerebro). La neurona consiste de un cuerpo celular con el núcleo y prolongaciones llamadas dendritas que reciben los mensajes; una extensión de la célula, el axón, la conecta a las dendritas de **otra** célula; cuando una neurona es estimulada, ondas de iones de sodio y de potasio transportan un impulso eléctrico a través del axón.

En las siguientes páginas incluyo los pasajes de la autobiografía de **Cajal** en las que éste describe los trabajos que le condujeron al descubrimiento de la neurona. («Y llegó el año 1888, mi año *cumbre*, mi año de *fortuna*», escribe, como se verá, en esas líneas.)

Historia de mi labor científica (1923); de los capítulos 3 y 4

«En mis exploraciones sistemáticas por los dominios de la anatomía microscópica llegó el turno del sistema nervioso, esa obra maestra de la vida. Lo examiné febrilmente en los animales, teniendo por guías los libros de Meynert, Hugenin, Luys, Schwalbe y, sobre todo, los incomparables de Ranvier, de cuya ingeniosa técnica me serví con tesón escrupuloso.

Importa recordar que los recursos analíticos de aquellos tiempos eran asaz insuficientes para abordar eficazmente el magno y atrayente problema. Desconocíanse todavía agentes tintóreos capaces de teñir selectivamente las expansiones de las células nerviosas y que consintieran perseguirlas con alguna seguridad, al través de la formidable maraña de la sustancia gris.

Ciertamente, desde la época de Meynert se practicaba con algún éxito el método de los cortes finos seriados, impregnados en carmín o hematoxilina, al que se añadió por entonces el método de Weigert para el teñido de las fibras meduladas; mas, por desgracia, los mejores preparados no revelaban sino el cuerpo protoplásmico de las células nerviosas con sus núcleos, y algo, muy poco, del arranque o trayecto inicial de los apéndices dendríticos y nerviosos.

Algo más expresivo, a los efectos de la revelación de la morfología celular, resultaba el proceder de la disociación mecánica, puesto en boga por Deiters, Schültze y Ranvier. Este aislamiento elemental efectuábase, de ordinario, a favor de las agujas, sobre el porta-objetos, previa maceración de la trama nerviosa en disoluciones débiles de bicromato de potasa. Tratándose de nervios, semejante recurso proporcionaba muy claras imágenes, máxime si se le combinaba, a ejemplo de Ranvier, Schiefferdecker, Segall, etc., con la acción impregnadora—subsiguient-

te o preliminar según los casos— del nitrato de plata o del ácido ósmico. Pero aplicada al análisis de los ganglios, de la retina, de la médula espinal o del cerebro, la delicada operación de desprender las células de su ganga de cemento y de desenredar y extender con las agujas sus brazos ramificados, constituía empresa de benedictino.

¡Qué dicha cuando, a fuerza de paciencia, lográbamos aislar por completo un elemento de neuroglia, con su forma típica en araña o una neurona motriz colosal de la médula, bien destacados y libres sus robustos cilindro-eje y dendritas! ¡Qué triunfo sorprender en afortunadas disociaciones de los ganglios raquídeos la bifurcación de la expansión única, o desbrozar de su zarzal neurológico la pirámide cerebral, es decir, la noble y enigmática célula del pensamiento! Estos modestos éxitos de manipulador nos llenaban de ingenua vanidad y de íntima delectación. Lo malo era que semejante alarde, un poco pueril, de virtuosidad técnica, era incapaz de satisfacer nuestra ansia de dilucidar el insondable arcano de la organización cerebral. A nuestra febril curiosidad se sustraía cuanto se *refiere* a la ardua cuestión del origen y terminación de las fibras nerviosas dentro de los centros intercelulares. Nadie podía contestar a esta sencilla interrogación: ¿Cómo se transmite la corriente nerviosa desde una fibra sensitiva a una motora? Ciertamente, no faltaban hipótesis; pero todas ellas carecían de base objetiva suficiente.

Y, sin embargo, a despecho de la impotencia del análisis, el problema nos atraía irresistiblemente. Adivinábamos el supremo interés que, para la construcción de una psicología racional, ofrecía el conocimiento exacto de la textura del cerebro. Conocer el cerebro, nos decíamos, equivale a averiguar el cauce material del pensamiento y de la voluntad, sorprender la historia íntima de la vida en su perpetuo duelo con las energías exteriores; historia resumida, y en cierto modo esculpida, en esas coordinaciones neuronales defensivas de reflejo, del instinto y de la asociación de las ideas.

Por desgracia, faltábanos el arma poderosa con que descuarjar la selva impenetrable de la sustancia gris, de esa *constelación de incógnitas* como, en su lenguaje brillante, la llamaba Letamendi.

Y con todo eso, mi pesimismo era exagerado, según hemos de ver. Claro es que el aludido *desiderátum* era y es aún hoy ideal inaccesible. Pero algo se podía avanzar hacia él aprovechando la técnica de entonces. En realidad, el instrumento revelador existía; sólo que ni yo, aislado en mi rincón, lo conocía, ni se había divulgado apenas entre los sabios, no obstante haber visto la luz por los años de 1880 y 1885. Fue descubierto por C. Golgi, eximio histólogo de Pavía, favorecido por la casualidad, musa inspiradora de los grandes hallazgos. En sus probaturas tintoriales, notó este sabio que el protoplasma de las células nerviosas, tan rebelde a las coloraciones artificiales, posee el precioso atributo de atraer vivamente el precipitado de *cromato de plata*, cuando este precipitado se produce en el espesor mismo de las piezas. El *modus operandi*, sencillísimo, reduce a

indurar por varios días trozos de sustancia gris en soluciones de *bicromato de potasa* (o de líquido de Müller), o mejor aún, en mezcla de bicromato y de solución al 1 por 100 de *ácido ósmico*, para tratarlos después mediante soluciones diluidas (al 0,75) de *nitrato de plata* cristalizado. Genérase de este modo un depósito de *bicromato argéntico*, el cual, por dichosa singularidad que no se ha explicado todavía, selecciona ciertas células nerviosas con exclusión absoluta de otras. Al examinar la preparación, los corpúsculos de la sustancia gris muéstranse teñidos de negro marrón hasta en sus más finos ramúsculos, que destacan con insuperable claridad, sobre un fondo amarillo transparente, formado por los elementos no impregnados. Gracias a tan valiosa reacción, consiguió Golgi, durante varios años de labor, esclarecer no pocos puntos importantes de la morfología de las células y apéndices nerviosos. Pero, según dejo apuntado, el admirable método de Golgi era por entonces (1887-1888) desconocido por la inmensa mayoría de los neurólogos o desestimado de los pocos que tuvieron noticia precisa de él. El libro de Ranvier, mi biblia técnica de entonces, le consagraba solamente unas cuantas líneas informativas, escritas displicentemente. Véase a la legua que el sabio francés no lo había ensayado. Naturalmente, los lectores de Ranvier pensábamos que el susodicho método no valía la pena. Igual desdén mostraban los alemanes.

Debo a L. Simarro, el afamado psiquiatra y neurólogo de Valencia, el inolvidable favor de haberme mostrado las primeras buenas preparaciones efectuadas con el proceder del cromato de plata, y de haber llamado mi atención sobre la excepcional importancia del libro del sabio italiano, consagrado a la inquisición de la íntima estructura de la sustancia gris [Golgi, *Sulla fina Anatomía degli organici centrali del sistema nervoso*, Milán, 1885]. Merece contarse este hecho, porque sobre haber tenido importancia decisiva en mi carrera, demuestra una vez más la potencia vivificante y dinámogena de las *cosas vistas*, es decir, de la percepción directa del objeto, frente de la débilísima y por no decir nula influencia de estas mismas cosas, cuando a la mente llegan por las frías y desvaídas descripciones de los libros.

Allá por el año de 1887 fui nombrado juez de oposiciones a cátedras de Anatomía Descriptiva. Deseoso de aprovechar mi estancia en Madrid para informarme de las novedades científicas, púseme en comunicación con cuantos en la Corte cultivaban los estudios micrográficos. Ente otras visitas instructivas, mencionaré la cursada al Museo de Historia Natural, donde conocí al modestísimo cuando sabio naturalista don Ignacio Bolívar; la consagrada al laboratorio de Histología de San Carlos, dirigido por el benemérito doctor Maestre, y cuyo ayudante, el doctor López García, mostróme las últimas novedades técnicas de Ranvier, de quien había sido devotísimo y aprovechado discípulo; la efectuada a cierto *Instituto biológico* no oficial, instalado en la calle de la Gorguera, en el cual trabajaban varios jóvenes médicos, entre ellos, el doctor Federico Rubio y, sobre todo, don Luis Simarro, recién llegado de

París y entregado al noble empeño de promover entre nosotros el gusto hacia la investigación; y, en fin, la realizada al laboratorio privado del prestigioso neurólogo valenciano, quien, por cultivar la especialidad profesional de las enfermedades mentales, se ocupaba en el análisis de las alteraciones del sistema nervioso (asistido, por cierto, de copiosísima biblioteca neurológica), ensayando paciente y esmeradamente cuantas novedades técnicas aparecían en el extranjero.

Fue precisamente en casa del doctor Simarro... donde por primera vez tuve ocasión de admirar excelentes preparaciones del método de Weigert-Pal, y singularmente, según dejo apuntado, aquellos cortes famosos del cerebro, impregnados mediante el proceder argéntico del sabio de París...

A mi regreso a Valencia, decidí emplear en grande escala el método de Golgi y estudiarlo con toda la paciencia de que soy capaz. Innumerables probaturas, hechas por Bartual y por mí, en muchos centros nerviosos y especies animales, nos convencieron de que el nuevo recurso analítico tenía ante sí brillante porvenir, sobre todo si se encontraba manera de corregirlo de su carácter un tanto caprichoso y aleatorio*. El logro de una buena preparación constituía sorpresa agradable y motivo de jubilosas esperanzas.

Hasta entonces, nuestras preparaciones del cerebro, cerebelo, médula espinal, etc., confirmaban plenamente los descubrimientos del célebre histólogo de Pavía; pero ningún hecho nuevo de importancia surgía de ellas. No me abandonó por eso la fe en el método. Estaba plenamente persuadido de que, para avanzar seriamente en el conocimiento estructural de los centros nerviosos, era de todo punto preciso servirse de procedimientos capaces de mostrar, vigorosa y selectivamente teñidas sobre fondo claro, las más tenues raicillas nerviosas. Sabido es que la sustancia gris representa algo así como fieltro apretadísimo de hebras ultrasútiles; para perseguir estos filamentos nada valen los cortes delgados ni las coloraciones completas. Requiero al efecto reacciones intensísimas que consientan el empleo de cortes muy gruesos, casi macroscópicos (las expansiones de las células nerviosas tienen a veces muchos milímetros y aun centímetros de longitud), y cuya transparencia, no obstante el insólito espesor, sea posible, gracias a la exclusiva coloración de algunas pocas células o fibras que destaquen en medio de extensas masas celulares incoloras. Sólo así resulta empresa factible seguir un conductor nervioso desde su origen hasta su terminación.

* A estas veleidades de la impregnación cromo-argéntica se debió, sin duda, el que Simarro, introductor en España de los métodos y descubrimientos de Golgi, abandonará desalentado sus ensayos. En carta suya de 1889 me decía: «Recibí su última publicación sobre la estructura de la médula espinal, que me parece un trabajo notable, mas no *convinciente*, a causa del método de Golgi, que aun en sus manos de usted, que tanto lo ha perfeccionado, es, más que demostrativo, un método *sugestivo*.» Desgraciadamente, Simarro, dotado de un gran talento, carecía de la perseverancia, la virtud de los modestos.

De cualquier modo, estábamos ya en posesión del instrumento requerido. Faltaba solamente determinar escrupulosamente las condiciones de la reacción cromo-argéntica, disciplinarla para adaptarla a cada caso particular. Y si el encéfalo y demás órganos centrales adultos del hombre y vertebrados son demasiado complejos para permitir escrutar, mediate dicho recurso, su plan estructural, ¿por qué no aplicar sistemáticamente el método a los animales inferiores o a las fases tempranas de la evolución ontogénica, en las cuales el sistema nervioso debe ofrecer organización sencilla y, por decirlo así, esquemática?

El programa de trabajo que nos impusimos. Iniciado en Valencia, sólo cuando me trasladé a Barcelona fue cumplido con una perseverancia, un entusiasmo y un éxito que superaron mis expectativas...

Y llegó el año 1888, mi año *cumbre*, mi año de fortuna. Porque durante este año, que levanta mi memoria con arreboles de aurora, surgieron al fin aquellos descubrimientos interesantes, ansiosamente esperados y apetecidos. Sin ellos habría yo vegetado tristemente en una Universidad provinciana, sin pasar, en el orden científico, de la categoría de jornalero detallista, más o menos estimable. Por ellos llegué a sentir el acre halago de la celebridad, mi humilde apellido, pronunciado a la manera alemana (Cayal), traspasó las fronteras, en fin, mis ideas, divulgadas entre los sabios, discutiéronse con calor. Desde entonces el tajo de la ciencia contó con un obrero más.

¿Cómo fue ello? Perdonará el lector si, a un acontecimiento tan decisivo para mi carrera, consagro aquí algunas noticias y ampliaciones. Declaro desde luego que la *nueva verdad*, laboriosamente buscada y tan esquivada durante dos años de varios tanteos, surgió de repente en mi espíritu como una revelación. Las leyes que rigen la morfología y las conexiones de las células nerviosas en la sustancia gris, patentes primeramente en mis estudios del cerebelo, confirmáronse en todos los órganos sucesivamente explorados. Séame lícito formularlas desde luego:

1.º Las ramificaciones colaterales y terminales de todo cilindro del eje acaban en la sustancia gris, no mediante red difusa, según defendían Gerlach y Golgi con la mayoría de los neurólogos, sino mediante arborizaciones libres, dispuestas en variedad de formas (*cestas* o *nidos* pericelulares, ramas trepadoras, etc.).

2.º Estas ramificaciones se aplican íntimamente al cuerpo y dentritas de las células nerviosas, estableciéndose un contacto o articulación entre el protoplasma receptor y los últimos ramúsculos axónicos.

De las referidas leyes anatómicas desprendense dos corolarios fisiológicos:

3.º Puesto que el cuerpo y dentritas de las neuronas se aplican estrechamente a las últimas raicillas de los cilindros-ejes, es preciso admitir que el soma y las expansiones protoplásmicas participan en la cadena de conducción, es decir, que reciben y propagan el impulso nervioso, contrariamente a la opinión de Golgi, para quien dichos

segmentos celulares desempeñarían un papel meramente nutritivo.

4.º Excluida la continuidad substancial entre célula y célula, se impone la opinión de que el impulso nervioso se transmite por contacto, como en las articulaciones de los conductores eléctricos, o por una suerte de inducción, como en los carretes de igual nombre.

Las referidas leyes, puro resultado inductivo del análisis estructural del cerebelo, fueron confirmadas después en todos los órganos nerviosos explorados (retina, bulbo olfatorio, ganglios sensitivos y simpáticos, cerebro, médula espinal, bulbo raquídeo, etc.). Ulteriores trabajos nuestros y ajenos (de Kólliker, Retzius, Van Gehuchten, His, Edinger, Von Lenhossék, Athias, Lugaro, P. Ramón, Cl. Sala, etc.), revelaron que las referidas normas estructurales y fisiológicas se aplicaban también, sin violencia, al sistema nervioso de vertebrados e invertebrados. Según ocurre con todas las concepciones legítimas, la mía fue consolidándose y ganando progresivamente en dignidad conforme se acrecía el círculo de la exploración comprobatoria.

Pero en mi afán de condensar en breves proposiciones lo esencial de los resultados obtenidos, no he contestado aún a la interrogación formulada en párrafos anteriores.

¿Cómo fueron las referidas leyes descubiertas? ¿Por qué mi labor, atendida durante dos años a la modesta confirmación de las conquistas de Deiters, Ranvier, Krause, Kólliker y, sobre todo, de Golgi, adquirió de repente vuelo y originalidad sorprendentes?

Quiero ser franco con el lector. A mis éxitos de entonces contribuyeron, sin duda, algunos perfeccionamientos del método cromo-argéntico, singularmente la modificación designada *proceder de doble impregnación**; pero el resorte principal, la causa verdaderamente eficiente, consistió —¿quién lo dijera!— *en haber aplicado a la resolución del problema de la sustancia gris los dictados del más vulgar sentido común*. En vez de atacar al toro por las astas, según la frase vulgar, yo me permití algunos rodeos estratégicos. Esto exige una amplificación.

Dejo consignado en el capítulo anterior, y repetido hace un momento, que el gran enigma de la organización del cerebro se cifra en averiguar el modo de terminarse las ramificaciones nerviosas y de enlazarse recíprocamente las neuronas. Reproduciendo un símil ya mencionado, tratábase de inquirir cómo rematan las raíces y las ramas de esos árboles de la sustancia gris, de esa selva tan densa que, por refinamiento de

* Consiste en someter las piezas, una vez extraídas del nitrato de plata, a un nuevo tratamiento por el baño osmio-bicrómico y a otra impregnación argéntica. Las modificaciones en las proporciones del ácido ósmico, bicromato, tiempo de acción, etc., tienen menos importancia. Merced al *método doble*, fue posible lograr en los ganglios, retina y otros órganos difíciles, impregnaciones excelentes y casi constantes. Pudo también contribuir al éxito el haber observado que, cuanto más joven es un embrión, menos tiempo de induración en la mezcla osmio-bicrómica se requiere para conseguir una buena coloración. Así, mientras Golgi y sus discípulos fijaban las piezas durante cinco o más días, yo no solía pasar de uno.

complicación, carece de vacíos, de suerte que los troncos, ramas y hojas se tocan por todas partes.

Dos medios ocurren para indagar adecuadamente la forma real de los elementos de este bosque inextricable. El más natural y sencillo al parecer, pero en realidad el más difícil, consiste en explorar intrépidamente la selva adulta, limpiando el terreno de arbustos y plantas parásitas, y aislando, en fin, cada especie arbórea, tanto de sus parásitos como de sus congéneres. Tal es el recurso aplicado en Neurología por la mayoría de los autores, desde la época de Stilling, Deiters y Schültze (disociación mecánica y química) hasta la de Weigert y Golgi, en que el aislamiento de cada forma celular o de cada fibra se conseguía ópticamente, es decir, por desaparición o incoloración de la mayoría de los factores integrantes de la sustancia gris. Mas semejante táctica, a la que Golgi y Weigert debieron notables descubrimientos, resulta poco apropiada a la dilucidación del problema propuesto, a causa de la enorme longitud y extraordinaria frondosidad del ramaje nervioso, que inevitablemente aparece mutilado y casi indescifrable en cada corte.

El segundo camino ofrecido a la razón constituye lo que, en términos biológicos, se designa *método ontogénico o embriológico*. Puesto que la selva adulta resulta impenetrable e indefinible, ¿por qué no recurrir al estudio del bosque joven, como si dijéramos, al estado de vivero? Tal fue la sencillísima idea inspiradora de mis reiterados ensayos del método argéntico en los embriones de ave y de mamífero. Escogiendo bien la fase evolutiva, o más claro, aplicando el método antes de la aparición de la vaina medular de los axones (obstáculo casi infranqueable a la reacción), las células nerviosas, relativamente pequeñas, destacan íntegras dentro de cada corte; las ramificaciones terminales del cilindro-eje dibújense clarísimas y perfectamente libres; los nidos pericelulares, esto es, las articulaciones interneuronales, aparecen sencillas, adquiriendo gradualmente intrincamiento y extensión; en suma, surge ante nuestros ojos, con admirable claridad y precisión, el plan fundamental de la composición histológica de la sustancia gris. Para colmo de fortuna, la reacción cromo-argéntica, incompleta y azarosa en el adulto, proporciona en los embriones coloraciones espléndidas, singularmente extensas y constantes.

¿Cómo —se dirá—, tratándose de cosa tan vulgar, no dieron en ella los sabios? Ciertamente, la idea debió ocurrir a muchos. Años después tuve noticia de que el mismo Golgi había ya aplicado su método a los embriones y animales jóvenes y obtenido algún resultado excelente; pero no insistió en sus probaturas, ni presumió quizá que, por semejante camino, pudiera adelantarse en la dilucidación del problema estructural de los centros. Tan poca importancia debió conceder a tales ensayos que, en su obra magna antes citada, las observaciones consignadas refiérense exclusivamente al sistema nervioso adulto del hombre y mamíferos. De cualquier modo, mi fácil éxito comprueba una vez más que

las ideas no se muestran fecundas con quien las sugiere o las aplica por primera vez, sino con los tenaces que las sienten con vehemencia y en cuya virtualidad ponen toda su fe y todo su amor. Bajo este aspecto, bien puede afirmarse que las conquistas científicas son creaciones de la voluntad y ofrendas de la pasión.

Consciente de haber encontrado una dirección fecunda, procuré aprovecharme de ella, consagrándome al trabajo, no ya con ahínco, sino con furia. Al compás de los nuevos hechos aparecidos en mis preparaciones, las ideas bullían y se atrepellaban en mi espíritu. Una fiebre de publicidad me devoraba. A fin de exteriorizar mis pensamientos, serví-me al principio de cierta revista médica profesional, la *Gaceta Médica Catalana*. Pero en rápido *crescendo* la marea ideal y la impaciencia por publicar, este cauce me resultaba estrecho. Contrariábame mucho la lentitud de la imprenta y el atraso de las fechas. Para sacudir de una vez tales trabas, decidí publicar por mi cuenta una nueva revista, la *Revista trimestral de Histología normal y patológica*. El primer cuaderno vio la luz en mayo de 1888 y el segundo apareció en el mes de agosto del mismo año. Naturalmente, todos los artículos, en número de seis, brotaron de mi pluma. De mis manos salieron también las seis tablas litográficas anejas. Razones económicas obligáronme a no tirar, por entonces, en junio, más de 60 ejemplares, destinados casi exclusivamente a los sabios extranjeros.

Excusado es decir que la vorágine de publicidad absorbió enteramente mis ingresos ordinarios y extraordinarios. Ante aquella racha asoladora de gastos, mi pobre mujer, atareada con la cría y vigilancia de cinco diablillos (durante el primer año de mi estancia en Barcelona me nació un hijo más), resolvió pasarse sin sirvienta. Adivinaba, sin duda, en mi cerebro, la gestación de algo insólito y decisivo para el porvenir de la familia, y evitó, discreta y abnegadamente, todo conato de rivalidad y competencia entre los hijos de la carne y las criaturas del espíritu.»

SANTIAGO RAMÓN Y CAJAL (Petilla de Aragón, 1852- Madrid, 1934). Hijo de un cirujano rural, Ramón y Cajal estudió medicina en la Universidad de Zaragoza. Tras finalizar sus estudios (1873), ganó unas oposiciones a médico militar, desempeñando este cargo en Cataluña, primero, y en Cuba después, de donde regresó, enfermo, en 1875. En 1883, ya iniciado en la práctica de la histología, obtuvo la cátedra de Anatomía de la Facultad de Medicina de Valencia. Se ocupó también durante algún tiempo (1885), coincidiendo aproximadamente con la vacunación anticolérica de Jaime Ferrán, de cuestiones bacteriológicas. Ocupó la cátedra de Histología de Barcelona desde 1887 hasta 1892, año en que se trasladó a Madrid. Entre 1882 y 1902 exploró de forma sistemática la estructura del sistema nervioso. Recibió el premio Nobel de Medicina y Fisiología en 1906, compartido con el italiano Camillo Golgi. Fundó una importante escuela de histología normal y patológica del sistema nervioso. Fueron discípulos suyos figuras como Jorge Francisco Tello, Fernando Castro y Rafael Lorente de No, e influyó decisivamente en los trabajos de Nicolás Achúcarro, Pío del Río Hortega y Gonzalo Rodríguez Lafora.

40. Un mundo (electrónico) nuevo



La segunda mitad del siglo XIX contempló un desarrollo espectacular de la ciencia del electromagnetismo, desarrollo que no se limitó al establecimiento de nuevas teorías, sino que también se tradujo en la creación de nuevos instrumentos y artilugios prácticos, que terminaron modificando profundamente la sociedad. La telegrafía, con hilos (terrestre y submarina) y, más tarde, sin hilos, representa un ejemplo muy destacado en este sentido. El establecimiento, en 1866, de un cable submarino que unía telegráficamente las islas británicas y Norteamérica constituyó un acontecimiento social de primer orden: la comunicación entre ambos continentes, que hasta entonces tardaba —considerando los dos sentidos— varias semanas, se podía establecer ya en cuestión de minutos. Probablemente, nunca en la historia de la humanidad se haya producido un cambio, cualitativa y cuantitativamente hablando, semejante en lo que se refiere al mundo del «transporte» (de pa-

labras en este caso, pero un tipo de transporte humano, al fin y al cabo).

Ante estos avances, científico-tecnológicos, la imaginación podía volar, lo que, de hecho, cumplió la función de fomentar la ciencia, por un lado, y la tecnología dependiente fuertemente de la ciencia, por otro. Un ejemplo en este sentido es la cita siguiente, extraída de una intervención de una persona en la actualidad prácticamente olvidada, W. E. Ayrton, ante el British Imperial Institute en 1897, poco después de que Guglielmo Marconi sacase su primera patente. Muy probablemente, la lectura de estas frases hará que asome en el lector una sonrisa de entre sorpresa y satisfacción, y que, mientras, acaso, guarda su teléfono móvil, piense: «¡El mundo que aquel hombre imaginó es ya el nuestro!»

«Sixty years of submarine telegraphy», («Sesenta años de telegrafía submarina»), *Electrician* (1897),
W. E. Ayrton

«No hay duda de que llegará el día, en el que probablemente tanto yo como Vds. habremos sido olvidados, en el que los cables de cobre, el hierro y la gutapercha que los recubre serán relegados al museo de antigüedades. Entonces cuando una persona quiera telegrafiar a un amigo, incluso sin saber donde pueda estar, llamará con una voz electromagnética que será escuchada por aquel que tenga el oído electromagnético, pero que permanecerá silenciosa para todos los demás. Dirá: "¿Dónde estás?" y la respuesta llegará audible a la persona con el oído electromagnético: "Estoy en el fondo de una mina de carbón, o cruzando los Andes, o en medio del Pacífico."»

41. Un descubrimiento casual: Becquerel



Quién no ha oído hablar de la radiactividad? Se trata de un fenómeno físico —una propiedad de bastantes elementos químicos—al que los humanos no hemos sido indiferentes desde su descubrimiento, relacionándonos con él de formas bastante diversas (a través de algunos mecanismos de producción de energía, de la política, del medio ambiente, de la medicina). Como también se da la radiactividad natural (elementos químicos existentes en la naturaleza que son intrínsecamente radiactivos), la humanidad siempre ha convivido con ella, pero sólo es consciente de tal convivencia desde hace poco más de un siglo, desde 1896, más concretamente, cuando un físico francés, Henri Becquerel, la descubrió.

Fue, de hecho, un descubrimiento casual. Lo que Becquerel estaba explorando era si la fluorescencia/fosforescencia iba acompañada de la emisión de los sorprendentes y maravillosos rayos X, que hacía muy

poco (el 8 de noviembre de 1895) había encontrado Wilhelm Rontgen. Parecía que así era, que los cuerpos fluorescentes/fosforescentes emitían rayos X (algunas sustancias emiten luz cuando son expuestas a una fuente que las excita; si continúan emitiendo luz después de que se haya eliminado esa fuente, se dice que es *fosforescente* o *fluorescente*; si el tiempo que tarda en desaparecer esa luminosidad inducida depende de la temperatura del material, hablamos de fosforescencia, si es independiente, de fluorescencia). Ahora bien, Becquerel estaba familiarizado con una sustancia fluorescente: el sulfato de uranio y, naturalmente, probó con ella.

El 24 de febrero de 1896, Becquerel presentaba su primera comunicación a la Academia de Ciencias de París, de la que era miembro: «Sur les radiations émises par phosphorescence» [«Sobre las radiaciones emitidas por fosforescencia»]. La conclusión que transmitía en aquel artículo era que los rayos emitidos por la sal de uranio impresionaban, a través de una espesa envoltura de papel, una placa fotográfica. Parecía, efectivamente, que la fosforescencia iba acompañada de rayos X. «Se deja», escribía, «una lamina de la sustancia fosforescente sobre el papel, por la parte de fuera, y se expone el conjunto al Sol durante varias horas. Cuando se revela después la placa, se descubre la silueta de la sustancia fosforescente, apareciendo en negro en el negativo. Si se coloca entre la sustancia fosforescente y el papel una moneda o una hoja de metal agujereada con algún dibujo, se puede ver que la imagen de estos objetos aparece en el negativo».

Sin embargo, una semana más tarde, el 2 de marzo, la Academia recibía otra comunicación de Becquerel, esta vez con un contenido mucho más sorprendente. La casualidad, el azar, esta vez bajo la apariencia de circunstancias meteorológicas, se habían aliado con él.

«Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents» [«Sobre las radiaciones invisibles emitidas por los cuerpos fosforescentes»]!, *Comptes Rendus de VAcadémie des Sciences* (1896)

«Insistiré particularmente en el siguiente hecho, que me parece muy importante y fuera del rango de fenómenos que uno esperaría observar: las mismas laminillas de cristales situadas en idénticas condiciones con respecto a las placas fotográficas, separadas por las mismas pantallas, pero protegidas de ser excitadas por radiación incidente, y mantenidas en la oscuridad, todavía producen idénticas impresiones fotográficas. He

aquí la forma en que me vi conducido a esta observación. De entre los experimentos precedentes, algunos fueron preparados el miércoles 26 y el jueves 27 de febrero, y como en esos días el Sol apareció únicamente de manera intermitente, no llevé a cabo los experimentos que había preparado, devolví las placas fotográficas a la oscuridad, poniéndolas en un cajón, pero dejé las laminillas de sal de uranio en el mismo lugar. Como el Sol no salió durante los días siguientes, revelé las placas fotográficas el 1 de marzo, esperando encontrar imágenes muy débiles. En vez de esto, las siluetas aparecieron con gran intensidad. Pensé inmediatamente que la acción debía haber continuado en la oscuridad, y dispuse el siguiente experimento.

Situé una placa fotográfica en el fondo de una caja de cartón opaco; a continuación, coloqué, en el lado sensible, una laminilla convexa de sal de uranio, que sólo tocaba en algunos puntos a la emulsión; a continuación, junto a ella puse en la misma placa otra laminilla de la misma sal, separada de la emulsión por una placa delgada de vidrio; llevé a cabo esta operación en un cuarto oscuro, cerré la caja, y después la metí en otra caja de cartón, que puse dentro de un cajón.

Hice lo mismo con un portaplaquetas cerrado por una hoja de aluminio, en el que puse una placa fotográfica, depositando después sobre él una laminilla de la sal de uranio. Encerré todo en un caja opaca que metí en un cajón. Pasadas cinco horas, revelé la placa, y las siluetas de las laminas cristalinas aparecieron en negro, igual que en el anterior experimento, como si se hubieran hecho fosforescentes por luz...

Es importante señalar que parece que este fenómeno no es atribuible a radiación luminosa emitida por fosforescencia.»

El descubrimiento quedó completo en otro artículo, publicado el 18 de mayo: «Émission de radiations nouvelles par l'uranium métallique» [«Emisión de nuevas radiaciones por el uranio metálico»], *Comptes Rendus de VAcadémie des Sciences*, 1896. A él pertenecen los siguientes pasajes:

«Hace unos pocos meses demostré que sales de uranio emiten radiaciones cuya existencia no había sido reconocida y que estas radiaciones mostraban algunas notables propiedades, algunas de las cuales son comparables con las propiedades de la radiación estudiada por Rontgen. Las radiaciones de las sales de uranio son emitidas no sólo cuando son expuestas a la luz, sino incluso cuando se mantienen en la oscuridad, y durante más de dos meses los mismos fragmentos de varias sales, aisladas de todas las radiaciones conocidas con poder de excitación, han continuado emitiendo los nuevos rayos, casi sin que se

perciba su debilitamiento. Desde el 3 de marzo al 3 de mayo, estas sustancias se mantuvieron encerradas en un caja de cartón opaco. Desde el 3 de mayo, han sido colocadas en una doble caja de plomo que nunca abandona la cámara oscura...

Bajo estas condiciones, las sustancias continúan emitiendo radiaciones activas...

Todas las sales de uranio que he estudiado, ya sean fosforescentes o no con respecto a la luz, estén cristalizadas, fundidas o en solución, han dado resultados comparables. Esto me ha conducido a pensar que el efecto es debido a la presencia en estas sales del elemento uranio, y que el metal daría efectos más intensos que los compuestos.

Hace unas pocas semanas, un experimento realizado con polvo comercial de uranio que había estado desde hacía mucho en mi laboratorio confirmó esa predicción; el efecto fotográfico es notablemente más fuerte que la impresión producida por una de las sales de uranio, y, en particular, el sulfato de potasio y uranio.

... Aunque continúo estudiando estos nuevos fenómenos, pensé que no dejaba de tener interés señalar la emisión producida por el uranio, que, creo, es el primer ejemplo de un metal que exhibe un fenómeno del tipo de una fosforescencia invisible.»

Fosforescencia invisible es el nombre que Becquerel daba todavía a lo que Marie Curie denominaría más tarde *radiactividad*.

HENRI BECQUEREL (París, 1852- Le Croisic, 1908). Educado en la École Polytechnique y en la École des Ponts et Chaussées fue, al igual que su padre y su abuelo, catedrático de Física en el Museo de Historia Natural de París. De hecho, nació en el propio Museo, donde su padre, como catedrático, disponía de una vivienda. También fue profesor en la École Polytechnique, y en 1889 fue elegido (como había ocurrido, de nuevo, con su padre y su abuelo) miembro de la Academia de Ciencias. Compartió con Marie y Pierre Curie el premio Nobel de Física de 1903, por el descubrimiento de la radiactividad.

42. Ciencia y mito: Marie Curie



Marie Curie (Skłodowska de soltera) ocupa un lugar destacado en la historia de la ciencia. En la historia y también en lo que se podría denominar «mitología» que rodea a la ciencia. Su personalidad y biografía han hecho de ella lo más parecido a una «santa» (laica) de la ciencia, siendo mucho más conocida que otros científicos con mayores credenciales profesionales para que su nombre hubiese trascendido a la sociedad (el caso de Ernest Rutherford, por ejemplo).

En el plano puramente científico, el gran mérito de Marie Curie fue el descubrimiento, en 1898 (en artículos que firmó junto a Pierre Curie —los dos— y Gustave Bémont, en el segundo caso), de dos nuevos elementos radiactivos: el polonio y el radio, con los que la radiactividad amplió su interés y posibilidades científicas.

El descubrimiento de la radiactividad realizado por Becquerel no atrajo inicialmente excesiva atención; los rayos X seguían en la cresta de

la ola de la popularidad. Y es en este punto de la historia donde aparece Marie Curie. Polaca de nacimiento, Marie abandonó su patria en 1891 para estudiar física y matemáticas en la Sorbona. En 1894 conoció a Pierre Curie, profesor de física en la École de Physique et de Chimie Industrielles, con quien contrajo matrimonio (civil) en julio de 1895.

Una vez obtenidas sus dos licenciaturas, Marie decidió doctorarse. Y no encontró mejor tema que el de estudiar el fenómeno descubierto no hacía mucho por Becquerel: «Mi atención», recordó en su autobiografía, «había sido atraída por los interesantes experimentos de Henri Becquerel con las sales del raro metal uranio... Mi marido y yo estábamos muy excitados por este nuevo fenómeno, y yo decidí emprender un estudio especial de él».

Lo que hizo Marie en aquellas sus primeras investigaciones en el campo de la radiactividad fue, por un lado, estudiar la conductibilidad del aire bajo la influencia de la radiación emitida por el uranio, y, por otra parte, buscar si existían otras sustancias, aparte de los compuestos del uranio, que convirtiesen al aire en conductor de la electricidad. El procedimiento experimental era, en principio, sencillo: colocaba el material que iba a estudiar sobre una placa metálica frente a la que se encontraba otra placa, también de metal, que hacía las veces de condensador; utilizaba entonces un electrómetro de cuarzo piezoeléctrico (desarrollado por su marido) para comprobar si pasaba alguna corriente eléctrica por el aire contenido entre las placas. Cuanta mayor fuese la intensidad de esa corriente, mayor la «actividad» (es decir, la «potencia») radiactiva de la sustancia.

Veamos cómo describió ella misma la secuencia de observaciones que condujeron al descubrimiento del radio.

Autobiographical Notes (1923) *(Notas autobiográficas)*

«Tuve ocasión de examinar cierto número de minerales. Unos pocos de ellos mostraron actividad: eran aquellos que contenían uranio o torio. La actividad de estos minerales no habría tenido nada de sorprendente si hubiese estado en proporción a las cantidades de uranio o torio que contenían. Pero no era así. Algunos de estos minerales mostraron una actividad tres o cuatro veces mayor que la del uranio. Verifiqué cuidadosamente este sorprendente hecho, y no podía dudar de su veracidad. Especulando acerca de su motivo, me pareció que sólo existía una explicación. Debía de haber, pensé, alguna sustancia desconocida, muy activa, en estos minerales. Mi marido estuvo de acuerdo con-

migo y me urgió a que buscásemos inmediatamente esta hipotética sustancia, pensando que uniendo esfuerzos se obtendría más rápidamente un resultado. Ninguno de nosotros podía prever que al comenzar este trabajo íbamos a entrar en el camino de una nueva ciencia, que seguiríamos durante todo nuestro futuro.

Por supuesto, no esperaba, ni siquiera al principio, encontrar un nuevo elemento en grandes cantidades, puesto que los minerales ya habían sido analizados con alguna precisión. Pensé que a lo sumo podría existir un 1 por 100 de la sustancia desconocida en los minerales. Pero cuanto más trabajábamos más claro nos iba quedando que el nuevo elemento radiactivo solamente podría existir en proporciones bastante mínúsculas y que, en consecuencia, su actividad debía ser muy grande. Nadie puede decir si habríamos insistido, dada la pobreza de nuestros medios de investigación, si hubiésemos conocido la verdadera proporción de lo que estábamos buscando; todo lo que se puede decir ahora es que la constante progresión de nuestro trabajo nos mantuvo absorbidos en una apasionada investigación, mientras las dificultades iban aumentando constantemente. De hecho, sólo después de varios años del más arduo trabajo tuvimos finalmente éxito en separar completamente la nueva sustancia, ahora conocida por todo el mundo como radio.»

Pero, como ya señalé, la fama de Marie Curie traspasó ampliamente las fronteras del mundo científico, hasta un punto tal que el recuerdo que de ella nos ha quedado constituye una confusa amalgama de ciencia y mito, o, cuando menos, de ciencia y sociedad. La visita que hizo a Madrid en abril de 1919, para participar en el primer Congreso Nacional de Medicina, proporciona un buen ejemplo en este sentido. El entonces joven Gregorio Marañón escribió dos artículos periodísticos, para *El Liberal*, informando del Congreso y glosando al mismo tiempo la figura de la descubridora del radio. Estos artículos, en los que no faltan exageraciones ni lugares comunes, nos permiten recuperar el ambiente que rodeó a aquel Congreso, y la impresión que Marie Curie produjo en la audiencia, y en el que pronto sería tan célebre médico.

El 21 de abril, y tras comentar algunos de los pormenores de la inauguración (tomaron la palabra el fisiólogo José Gómez Ocaña, presidente del Congreso, el alcalde de Madrid, el ministro de la Gobernación y el rey), Marañón se refería a la presencia de Marie Curie:

«Madame Curie», *El Liberal*, 21 de abril de 1919,
G. Marañón

«Pero ha habido un momento lleno de emoción, que hará inolvidable este acto: cuando el rey ha concedido la palabra a madame Curie y, en nombre de la Universidad de París, se ha levantado de su asiento esta mujer gloriosa, quizá la más alta cima de la ciencia contemporánea, orgullo de Francia, de la raza latina y del mundo entero. Delgada y pálida, vestida de negro, sin un solo adorno, tocada de un sombrerillo breve, al ponerse en pie ha oscurecido todos los esplendores del teatro, con la doble gloria que le circunda, la del hombre inmortal que compartió con ella la vida y la fiebre de la investigación y la de su propia obra, en la que el culto santo al compañero de trabajo ha hecho el milagro de proseguir, sin solución de continuidad aparente, todo el empuje de la labor común.»

En su segundo artículo, Marañón se ocupó de la conferencia que, dentro de las actividades del Congreso y sobre «Las radiaciones de radioelementos y la técnica de su empleo», pronunció Marie el día 22.

«La conferencia de Madame Curie», *El Liberal*,
23 de abril de 1919,
G. Marañón

«El éxito y el interés del Congreso ha culminado en la conferencia que ayer tarde dio en San Carlos madame Curie. Mientras el vasto anfiteatro se iba llenando de médicos, de hombres de ciencia, de mujeres —no tantas como debieran haber ido—, la gran investigadora, ayudada por su hija, disponía aquí y allá sus aparatos, con esa ligera seguridad que da el uso cotidiano de las técnicas. Al fin se ha hecho el silencio. El doctor Recaséns ha presentado a la conferenciante', con unas frases un poco largas, llenas de respeto y admiración. Y sin preámbulo alguno ha comenzado su lección madame Curie.

Su palabra, segura y precisa, ha ido exponiendo toda la historia, las propiedades y las aplicaciones del radio y de los cuerpos análogos: todo un mundo de maravillosos misterios, de cosas ignotas, que en sus labios parecen tan sencillos, y que han consumido su vida y la de su compañero muerto, en una pugna diaria con lo desconocido.

Pocas veces la ciencia pura habrá despertado en un auditorio tan numeroso y heterogéneo tanta expectación. Ni una sílaba se perdía, ni un movimiento de sus manos, manejando los tubos llenos del metal extraordinario.

Ha hablado cerca de dos horas, sin fatiga y sin emoción, como si expresase en voz alta y en la soledad sus meditaciones. De vez en cuando, un experimento, de apariencia fantástica, ilustraba su narración. Seguida de su hija, deslizaba entre los aparatos su figura, en la que el genio y la austeridad han ido desvaneciendo el sexo, para continuar después, en pie detrás de la mesa, su discurso, con las manos cruzadas o prendidas en la cadena de oro que, como único adorno, pende de su cuello.

Al final ha hecho proyectar dos fotografías, que ha comentado con la voz, por un instante, turbada. Representan la fachada y el interior de un pequeño pabellón de madera. Por fuera parece la barraca de una feria; por dentro el taller de unos obreros pobres: unas mesas y unos bancos de tablas, y unos pocos aparatos mezquinos. Pues allí han trabajado "ellos" durante los primeros años de lucha, cuando nadie les comprendía ni les ayudaba, cuando sólo les sostenía la fe... Toda la obra fundamental del radio ha salido de allí; y ahora la directora del soberbio Instituto del Radio, nos lo muestra llena de orgullo y de emoción, para que aprendamos todos, y singularmente los españoles, que la ciencia la hacen los hombres, donde sea, en una buhardilla, cuando tienen el genio investigador y no los laboratorios, por ricos que se construyan y se doten.

Casi tan interesante como la insigne oradora resultaba la observación del público. Nunca ha henchido el anfiteatro de San Carlos una multitud tan grande y tan llena de respeto. A un lado, en sillones rojos, estaban el decano, el rector, el presidente del Congreso y la reina Cristina, que no distraían un punto de madame Curie la fina atención de sus impertinentes.

En un rincón, un grupo de monjas escuchaban también, llenas de asombro, a esta santa fecunda de una religión que ellas desconocen, que en lugar de contemplar a Dios le arranca sus secretos y los reparte entre los hombres.»

MARIE CURIE (Varsovia, 1867- Saint-Gervais, Alta Saboya, 1934). Estudió en Varsovia y París. Recibió, junto a Henri Becquerel y Pierre Curie el premio Nobel de Física correspondiente a 1903, y en 1911, ella sola, el de Química, la primera persona en recibir dos de estos galardones. Tras la muerte, en 1906, de su marido, la Facultad de Ciencias de París propuso que substituyese a Pierre. Aceptó, ocupando primero el puesto de profesora adjunta, y sólo a partir de 1910 el de catedrática.

43. El explorador de lo oculto: Freud



En la historia del pensamiento —incluyendo, pero no limitándose a él, el pensamiento *científico*— no es demasiado frecuente encontrarse con personas que hayan construido, prácticamente desde sus cimientos, grandes e innovadores esquemas conceptuales. Individuos a los que podamos hacer responsables, con nitidez, sin apenas ambigüedades, de descubrir nuevos ámbitos y formas de entender la realidad. Sigmund Freud fue, sin duda, uno de esos pocos.

La línea de demarcación que va del «antes» al «después» de Freud, es la misma que separa dos maneras radicalmente diferentes de comprendernos a nosotros mismos. Nunca, en efecto, volveremos a contemplar, después de Freud, nuestras pasiones, fobias, filias o, simplemente, inclinaciones, como producto del momento, de la circunstancia imprevisible, como resultados de situaciones o historias perfectamente compren-

sibles o, por el contrario, desesperanzadoramente inexplicables. Freud **cambió** todo esto. Abrió un nuevo mundo, centrado en nosotros mismos, **en nuestra** hasta entonces insondable naturaleza. Introdujo innovaciones **radicales**, como el reconocimiento del inconsciente y la influencia que **fuerzas** psicológicas fuera de nuestro control racional ejercen sobre nuestro comportamiento, deseos, fantasías y motivaciones. Llamó la atención **sobre la** importancia de los fenómenos psicológicos, desde los sueños y **fantasías**, hasta los meros deslices lingüísticos, dando un papel primordial **a la** sexualidad en el desarrollo psicológico de las personas desde la infancia. Incluso llegó a atreverse con la idea de cultura, o con los orígenes **de** las religiones.

No obstante, con relativa frecuencia se ha negado a Freud la categoría **de científico**, y a su obra psicoanalítica de *ciencia*. Ciertamente, existen diferencias notables entre los métodos utilizados en el psicoanálisis y **los** propios de las ciencias más establecidas, más tradicionales, como **la física, la química** o la matemática, pero, en última instancia, ¿qué es la ciencia sino exploración sistemática, haciendo uso de hipótesis, de «fuerzas» **que**, de una u otra manera, nos afectan? Es muy probable que el edificio freudiano deba de ser revisado drásticamente en el futuro, eliminando en particular las ligaduras que la fuerte personalidad y poder creativo de **Freud han** impuesto a la mayoría de sus seguidores, pero la esencia de su visión, **la** idea de que existen, de que es necesario describir —y, en ocasiones, actuar sobre ellos— mundos individuales y colectivos inconscientes que afectan profundamente a nuestras vidas, percepciones y culturas, **es** algo que difícilmente perderemos.

Como he señalado antes, una de las ventanas a la realidad que abrió **Freud** fue la correspondiente a los sueños, que, como él mismo escribió **en su** autobiografía «fueron considerados en la antigüedad clásica como profecías»; «la ciencia moderna», añadía, «no quería saber nada de ellos, **los** abandonaba a la superstición y los declaraba un acto simplemente "somático", una especie de contracción de la vida anímica dormida. Parecía totalmente imposible que alguien que hubiera llevado a cabo un serio trabajo científico pudiera surgir luego como "onirocrítico"». Se da la circunstancia, además, de que esa «nueva ventana» terminó atrayendo **muy** poderosamente la atención de una gran parte de la sociedad, hasta el **punto** que se puede decir que la manera en que Freud analizó e interpretó los sueños constituye uno de los «temas de nuestro siglo». Es por eso **que** lo he seleccionado.

El tema de los sueños aparece, por supuesto, en muchas de sus obras, **aunque** la más importante fue, sin duda, *La interpretación de los sueños* (1900), probablemente la más característica, extensa, plural y poderosa **de** las obras de Freud.

No obstante, he elegido, por ser más conciso y manejable, un texto de otra obra (postuma) suya, *Esquema del psicoanálisis*, que comenzó en julio de 1938 y que se encontraba inconclusa a su muerte. Fue publicada, como homenaje a su autor, en 1940 por la revista *Internationale Zeitschrift für Psychoanalyse und Imago*.

Abriss der Psychoanalyse (1940)
(*Esquema del psicoanálisis*); del capítulo 5,
(«*La interpretación de los sueños como modelo*
ilustrativo»)

«Poco nos revelará la investigación de los estados normales y estables, en los cuales los límites del *yo* frente al *ello*, asegurados por resistencias (anticatexias), se han mantenido firmes; en los cuales el *super-yo* no se diferencia del *yo* porque ambos trabajan en armonía. Sólo pueden ser útiles los estados de conflicto y rebelión cuando el contenido del *ello* inconsciente tiene perspectivas de irrumpir al *yo* y a la conciencia, y cuando el *yo*, a su vez, vuelve a defenderse contra esa irrupción. Sólo en estas circunstancias podemos realizar observaciones que corroboren o rectifiquen lo que hemos dicho con respecto a ambos partícipes del mecanismo psíquico. Mas semejante estado es precisamente el reposo nocturno, el dormir, y por eso la actividad psíquica durante el dormir, actividad que vivenciamos como sueños, constituye nuestro más favorable objeto de estudio. Además, nos permite eludir la tan repetida objeción de que estructuraríamos la vida psíquica normal de acuerdo con comprobaciones patológicas, pues el sueño es un fenómeno habitual en la vida de todo ser normal, por más que sus características discrepen de las producciones que presenta nuestra vida de vigilia.

Como todo el mundo sabe, el sueño puede ser confuso, incomprendible y aun absurdo; sus contenidos pueden contradecir todas nuestras nociones de la realidad, y en él nos conducimos como dementes, al adjudicar, mientras soñamos, realidad objetiva a los contenidos del sueño.

Nos abrimos camino a la comprensión ("interpretación") del sueño aceptando que cuanto recordamos como tal, después de haber despertado, no es el verdadero proceso onírico, sino sólo una fachada tras la cual se oculta éste. He aquí la diferenciación que hacemos entre un *contenido onírico manifiesto* y las *ideas latentes del sueño*. Al proceso que convierte éstas en aquél lo llamamos *elaboración onírica*. El estu-

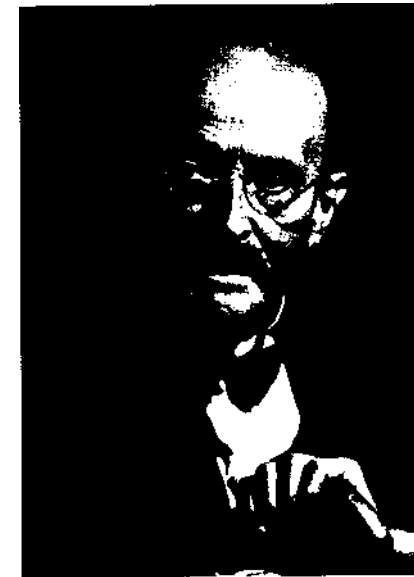
dio de la elaboración onírica nos suministra un excelente ejemplo de cómo el material inconsciente del *ello* (tanto el originalmente inconsciente como el reprimido) se impone al *yo*, se torna preconscious y, bajo el rechazo del *yo*, sufre aquellas transformaciones que conocemos como *deformación onírica*. No existe característica alguna del sueño que no pueda ser explicada de tal manera.

Lo más conveniente será que comencemos señalando la existencia de dos clases de motivos para la formación onírica. O bien un impulso instintivo (un deseo inconsciente), por lo general reprimido, adquiere durante el reposo la fuerza necesaria para imponerse al *yo*, o bien un deseo insatisfecho subsistente en la vida diurna, un tren de ideas preconscious, con todos los impulsos conflictuales que le pertenecen, ha sido reforzado durante el reposo por un elemento inconsciente. Hay, pues, sueños que proceden del *ello* y sueños que proceden del *yo*. Para ambos rige el mismo mecanismo de formación onírica, y también la imprescindible precondition dinámica es una y la misma. El *yo* revela su origen relativamente tardío y derivado del *ello*, por el hecho de que transitoriamente deja en suspenso sus funciones y permite el retorno a un estado anterior. Como no podría ser correctamente de otro modo, lo realiza rompiendo sus relaciones con el mundo exterior y retirando sus catexias de los órganos sensoriales. Puede afirmarse justificadamente que con el nacimiento queda establecida una tendencia a retornar a la vida intrauterina que se ha abandonado; es decir, un instinto de dormir. El dormir representa ese regreso al vientre materno. Dado que el *yo* despierto gobierna la motilidad, esta función es paralizada en el estado de reposo, tornándose con ello superfluas buena parte de las inhibiciones impuestas al *ello* inconsciente. El retiro o la atenuación de estas «anticatexias» permite ahora al *ello* una libertad que ya no puede ser perjudicial. Las pruebas de la participación del *ello* inconsciente en la formación onírica son numerosas y convincentes: *a)* La memoria onírica tiene mucho más vasto alcance que la memoria vigil. El sueño trae recuerdos que el soñante ha olvidado y que le son inaccesibles durante la vigilia, *b)* El sueño recurre sin límite alguno a símbolos lingüísticos cuya significación generalmente ignora el soñante, pero cuyo sentido podemos establecer gracias a nuestra experiencia. Proceden probablemente de fases pretéritas de la evolución del lenguaje, *c)* Con gran frecuencia, la memoria onírica reproduce impresiones de la temprana infancia del soñante, impresiones de las que no sólo podemos afirmar con seguridad que han sido olvidadas, sino también que se tornaron inconscientes debido a la represión. Sobre esto se basa el empleo casi imprescindible del sueño para reconstruir la prehistoria del soñante, como intentamos hacerlo en el tratamiento analítico de las neurosis, *d)* Además, el sueño trae a colación contenidos que no pueden proceder ni de la vida adulta ni de la infancia olvidada del soñante. Nos vemos obligados a considerarla como una parte de la

herencia arcaica que el niño trae consigo al mundo, antes de cualquier experiencia propia, como resultado de las experiencias de sus antepasados. Las analogías de este material filogenético las hallamos en las más viejas leyendas de la humanidad y en sus costumbres subsistentes. De este modo, el sueño se convierte en una fuente nada desdeñable de la prehistoria humana.»

SIGMUND FREUD (Freiberg, 1856- Londres, 1939). El que sería conocido universalmente como padre del psicoanálisis, estudió medicina en la Universidad de Viena, ciudad en la que realizó la mayor parte de sus investigaciones. Se inició en la investigación de la mano del gran fisiólogo Ernst Brücke, pasando a continuación a prestar servicios durante seis meses en la clínica psiquiátrica de Theodor Meynert. También permaneció algún tiempo estudiando con Jean Martin Charcot en París la aplicación del hipnotismo a los fenómenos histéricos. Hasta 1895 aproximadamente utilizó el método de la hipnosis para tratar a sus pacientes, substituyéndolo entonces por el de la asociación libre, con el que se puede decir que se inició el psicoanálisis, que quedó definitivamente establecido con la publicación, en 1900, de su gran obra *La interpretación de los sueños*. En 1938, tras la anexión de Austria por la Alemania nazi, se le prohibió, como judío, su ejercicio profesional. Consiguió abandonar Austria, instalándose en Londres, donde falleció al año siguiente. Sus obras completas se componen de 23 volúmenes.

44. Un acto de desesperación: Planck



La historia de la teoría cuántica está unida indisolublemente a la introducción de los cuantos de energía (o elementos discretos de energía), que llevó a cabo Max Planck, catedrático de la Universidad de Berlín, en 1900. Tal introducción no fue sino consecuencia de otro descubrimiento suyo, realizado muy poco antes: el de una ley para la distribución de la densidad de energía de radiación de un cuerpo negro (radiación que está en equilibrio con la materia que forma la cavidad que la contiene, y que por tanto absorbe y emite la misma cantidad de energía para cualquier longitud de onda).

Antes de llegar a esa ley de radiación, las investigaciones realizadas por Planck se habían caracterizado por ajustarse estrictamente a una física en la que no tenía cabida la dimensión estadística que había introducido Ludwig Boltzmann, y que amenazaba la validez absoluta de principios tan básicos como el del crecimiento de la entropía (función relacionada

con el grado de desorden de un sistema). Sin embargo, las teorías y los procedimientos que Planck aceptaba no conducían, como derivaciones teóricas, a la ley de radiación que había encontrado. Por este motivo, tuvo que aceptar finalmente el método de Boltzmann; utilizar, en concreto, la definición en la que la entropía de un sistema aparece dada por la expresión $S = k \cdot \ln W$, donde k es una constante (introducida precisamente por Planck posteriormente y denominada «constante de Boltzmann») y W la probabilidad de que tenga lugar el estado en cuestión. Doblearse ante semejante planteamiento, aceptar que el crecimiento de la entropía estaba asociado con probabilidades y que, por consiguiente, no era tan universal como él pensaba, debió de ser doloroso para un físico del talante de Planck, dolor sólo mitigado haciendo de este paso una «suposición puramente formal».

El hecho, en cualquier caso, es que combinando su ley de radiación con los procedimientos estadísticos de Boltzmann, Planck se vio conducido a que los osciladores cargados que suponía formaban la cavidad que contenía la radiación de un cuerpo negro, intercambiaban energía con la radiación de manera discontinua, a saltos. La expresión matemática para ese intercambio es la ya célebre fórmula de Planck:

$$\text{Energía} = \text{constante} \cdot \text{frecuencia}$$

La «constante» en cuestión, se denominó «constante de Planck», siendo representada por la letra h , con lo que la anterior expresión se escribe $E = h\nu$. Si hay algo que caracteriza a la teoría cuántica es esta constante.

Más de treinta años después, en una carta que escribió el 7 de octubre de 1931 al físico estadounidense Robert Williams Wood, Planck recordó los pasos que le llevaron al descubrimiento con el que se abrió una nueva etapa —y un nuevo mundo— en la ciencia:

«Resumido brevemente, se puede describir lo que hice como un acto de desesperación. Por naturaleza soy pacífico y rechazo toda aventura dudosa. Pero por entonces había estado luchando sin éxito durante seis años (desde 1894) con el problema del equilibrio entre radiación y materia, y sabía que este problema tenía una importancia fundamental para la física; también conocía la fórmula que expresa la distribución de la energía en los espectros normales. Por consiguiente, había que encontrar, costase lo que costase, una interpretación teórica. Tenía claro que la física clásica no podía ofrecer una solución a este problema, puesto que en ella, a partir de cierto momento, toda la energía será

transferida de la materia a la radiación. Para evitar esto se necesita una nueva constante que asegure que la energía se desintegre. Pero la única manera de averiguar cómo se puede hacer esto es partiendo de un punto de vista definido. En mi caso, el punto de partida fue mantener las dos leyes de la termodinámica. Hay que conservar, me parece, estas dos leyes bajo cualquier circunstancia. Por lo demás, estaba dispuesto a sacrificar cualquiera de mis convicciones anteriores sobre las leyes físicas. Boltzmann había explicado cómo se establece el equilibrio termodinámico mediante un equilibrio estadístico, y si se aplica semejante método al equilibrio entre la materia y la radiación, se encuentra que se puede evitar la continua transformación de energía en radiación suponiendo que la energía está obligada, desde el comienzo, a permanecer agrupada en ciertos cuantos. Esta fue una suposición puramente formal y en realidad no pensé mucho en ella.»

MAX KARL ERNST LUDWIG PLANCK (Kiel, 1858- Gotinga, 1947). Estudió física y **matemáticas en Munich**, doctorándose allí en 1879 con una tesis sobre la termodinámica. **Después de enseñar en Kiel**, pasó —en 1888— a Berlín, accediendo al puesto de **catedrático en 1892**. En 1930, convertido ya en el patriarca de la física germana, fue nombrado **presidente de la Asociación Kaiser Guillermo**, de la que dimitió en 1937 en protesta ante **el tratamiento** dado a los científicos de origen judío por el régimen de Hitler. En 1945 **la Asociación** cambió su nombre, pasando a ser denominada «Max Planck» (nombre que **todavía conserva**), siendo el propio Planck su presidente. Recibió el premio Nobel de **Física correspondiente** a 1918 «en reconocimiento a los servicios que prestó al avance **de la física con** su descubrimiento de los cuantos de energía».

45. La teoría de la relatividad: Einstein



Pocos científicos han alcanzado la notoriedad popular de Albert Einstein, para muchos «el genio entre los genios». Y ciertamente existen muy sólidas razones para considerarle de tal manera, aunque yo opine que, tomado en su conjunto, no llegó a la excepcional —uno está tentado de decir, «sobrehumana»— altura de Isaac Newton. Las aportaciones de Einstein a la ciencia fueron numerosas y variadas, pero las principales se agrupan en los campos de la relatividad especial, la relatividad general (la teoría de la interacción gravitacional que substituyó a la gravitación universal newtoniana) y la física cuántica. Como es natural, no me es posible ofrecer aquí muestras referentes a todas sus contribuciones. Me limitaré a referirme a dos (aunque más adelante comentaré otras). La primera es un aspecto peculiar de la manera en que llegó a algunas de sus aportaciones más fundamentales (entre otras, el postulado de la constancia de la velocidad de la luz, que se encuentra en la base de la teoría especial

de la relatividad). Tras solventar esta cuestión, ofreceré un pasaje en el que Einstein explicó en qué consiste la esencia de la relatividad.

Al plantearnos la cuestión de cómo un científico —Einstein en este caso— llega a efectuar algunas de sus contribuciones, penetramos en un ámbito que se podría denominar «psicología de la invención». El propio Einstein manifestó su opinión sobre este punto, en una carta que envió al matemático francés Jacques Hadamard, y que éste publicó en un libro titulado *The Psychology of Invention in the Mathematical Field* (1945) (*La psicología de la invención en el campo matemático*):

«Mi querido colega:

En lo que sigue, voy a intentar contestar brevemente a sus preguntas tan bien como sea capaz. No estoy satisfecho con esas respuestas y estoy dispuesto a contestar a más preguntas si usted cree que esto podría ser de alguna utilidad para el muy interesante y difícil trabajo que usted ha emprendido*.

(A) Las palabras o el lenguaje, tal y como se escriben o hablan, no parecen jugar ningún papel en mi mecanismo de pensamiento. Las entidades psíquicas que parecen servir como elementos en el pensamiento son ciertos signos e imágenes más o menos claras que pueden ser reproducidas y combinadas "voluntariamente".

Existe, por supuesto, cierta conexión entre esos elementos y conceptos lógicos relevantes. Es también claro que el deseo de llegar finalmente a conceptos relacionados lógicamente constituye la base emocional de este juego algo vago con los elementos antes mencionados. Pero tomado desde un punto de vista psicológico, este juego combinatorio parece ser el rasgo esencial del pensamiento productivo, antes de que exista alguna conexión con una construcción lógica expresada en palabras u otros tipos de signos que pueda ser comunicada a otros.

(B) Los elementos antes mencionados son, en mi caso, de tipo visual y algo muscular. Busco laboriosamente palabras convencionales u otros signos solamente en un estadio secundario, cuando el juego asociativo mencionado está suficientemente establecido y puede ser reproducido a voluntad.

* Los puntos (A), (B) y (C) que Einstein desarrolla a continuación, corresponden a la siguiente cuestión de Hadamard: «Sería de gran ayuda para el propósito de la investigación psicológica saber de qué imágenes internas o mentales, de qué clase de "mundo interno" hacen uso los matemáticos; ya sean éstos de tipo motor, audible, visual o mezcla, dependiendo del tema que estén estudiando.» El punto (D) queda claro a través de la respuesta, mientras que el (E) responde a esta otra cuestión: «Especialmente en lo que se refiere a investigaciones que se desarrollan utilizando el pensamiento, ¿se presentan las propias imágenes mentales o palabras de manera completamente consciente, o en el límite de la conciencia?»

(C) De acuerdo con lo que se ha dicho, el juego con los elementos mencionados pretende ser análogo a ciertas conexiones lógicas que uno está buscando.

(D) Visual y motor. En el nivel en el que las palabras intervienen de alguna forma, son, en mi caso, puramente auditivas, pero sólo interfieren en un nivel secundario como ya he mencionado.

(E) Me parece que lo que usted llama conciencia completa es un caso límite que nunca puede ser alcanzado completamente. Creo que esto se encuentra relacionado con el hecho denominado la estrechez de la conciencia.»

Pasando, ahora ya sí, a la ciencia einsteniana, disponemos de ejemplos en los que se ve esa manera «visual» que llevó —o, mejor, facilitó— a Einstein a algunos de sus descubrimientos más notables. Como el del axioma de la constancia de la velocidad de la luz, que como dije es uno de los pilares en los que se basa la teoría de la relatividad restringida. He aquí cómo describió aquella intuición visual en las notas autobiográficas que compuso a finales de la década de los años cuarenta.

«Autobiographical notes» (1949)
(*Notas autobiográficas*)

«Reflexiones de esta índole me hicieron ver claro, no mucho después de 1900, es decir, a poco de publicarse el innovador trabajo de Planck, que ni la mecánica ni la electrodinámica (salvo en casos límite) podían aspirar a validez absoluta. Poco a poco fui desesperando de poder descubrir las leyes verdaderas mediante esfuerzos constructivos basados en hechos conocidos. Cuanto más porfiaba y más denodado era mi empeño, tanto más me convencía de que solamente el descubrimiento de un principio formal y general podía llevarnos a resultados seguros. El ejemplo que veía ante mí era el de la termodinámica. El principio general venía dado allí por el teorema: las leyes de la naturaleza están constituidas de tal suerte que es imposible construir un *perpetuum mobile* (de primera y segunda especie). Mas ¿cómo encontrar un principio general de este tipo? Tras diez años de reflexión, ese principio resultó de una paradoja con la que topé ya a los dieciséis años: si corro detrás de un rayo de luz con la velocidad c (velocidad de la luz en el vacío), debería percibir el rayo luminoso como un campo electromagnético estacionario, aunque espacialmente oscilante. Pero semejante cosa no parece que exista, ni sobre la base de la experiencia ni según las

ecuaciones de Maxwell. De entrada se me antojó intuitivamente claro que, juzgada la situación por semejante observador, todo debería desarrollarse según las mismas leyes que para un observador que se hallara en reposo con respecto a la tierra. Pues, ¿cómo podría el primer observador saber o constatar que se encuentra en un estado de rápido movimiento uniforme?

Como se ve, en esta paradoja se contiene ya el germen de la teoría especial de la relatividad. Naturalmente, hoy nadie ignora que todos los intentos de aclarar satisfactoriamente esa paradoja estaban condenados al fracaso mientras el axioma del carácter absoluto del tiempo, o de la simultaneidad, siguiera anclado inadvertidamente en el inconsciente.»

Veamos ahora en qué consiste esa relatividad. Y lo veremos, tal y como lo explicó el propio Einstein en un artículo que le solicitó el *Times* de Londres en 1919 (después de que se hiciesen públicos, el 6 de noviembre, los resultados de las observaciones realizadas por dos expediciones británicas durante el eclipse de Sol del 29 de mayo, que se ajustaban a lo predicho por la relatividad general, y que hicieron el nombre de Einstein mundialmente conocido).

«My theory» («*Mi teoría*»), *The London Times*,
28 de noviembre de 1919

«He aceptado con gusto la petición que me formulara su colega para escribir unas líneas sobre la relatividad, para ser publicadas por el *Times*. Después de la lamentable interrupción del antiguo y activo intercambio de ideas entre los científicos, me resulta grata esta oportunidad de expresar mis sentimientos de alegría y agradecimiento a los astrónomos y físicos de Inglaterra.

Con total respeto por las solemnes tradiciones del trabajo científico en ese país, los más eminentes hombres de ciencia han entregado su tiempo y su esfuerzo, y las instituciones científicas no han ahorrado gastos para demostrar el alcance de una teoría que fue perfeccionada y publicada, durante la guerra, en el país de sus enemigos. Aun cuando la investigación de la influencia del campo gravitacional del Sol en los rayos de luz es un tema puramente objetivo, no puedo menos que expresar las gracias, de manera personal, a mis colegas ingleses por su trabajo. Sin esa labor es poco probable que se hubiera obtenido durante el curso de mi vida la comprobación de la más importante inferencia de mi teoría.

En física podemos diferenciar varias clases de teorías. La mayor parte de ellas son constructivas e intentan organizar un cuadro de los fenómenos más complejos a partir de materiales que provienen de un esquema formal relativamente simple, que sirve de punto de partida. Así, la teoría cinética de los gases trata de reducir los procesos mecánicos, térmico y de difusión al movimiento de moléculas, o sea que intenta reproducirlos a partir de la hipótesis del movimiento molecular. Cuando decimos que hemos logrado comprender un grupo de procesos naturales, siempre queremos significar que hemos hallado una teoría constructiva que abarca el proceso en cuestión.

Junto con esta clase de teorías principales, existe un segundo tipo al que llamaré "teorías de principios". En éstas se emplea el método analítico, no el sintético. Los elementos que configuran su base y punto de partida no se construyen por vía de hipótesis, sino que se descubren empíricamente, son características generales de procesos naturales, principios que dan origen a criterios formulados de modo matemático, que los distintos procesos o sus representaciones teóricas tendrán que satisfacer. La termodinámica, por ejemplo, por medios analíticos, a partir de la experiencia universalmente probada de que el movimiento perpetuo es imposible, trata de deducir las condiciones necesarias que habrán de satisfacer los distintos hechos.

Las ventajas de la teoría constructiva son la integridad, la adaptabilidad y la claridad; en el caso de la teoría de principios, nos encontramos con las ventajas de la perfección lógica y la seguridad de los fundamentos.

La teoría de la relatividad pertenece a esta segunda clase. Para captar su naturaleza es necesario, en primer lugar, conocer los principios en los que está fundamentada. Sin embargo, antes de referirme a ellos, debo recordar que la teoría de la relatividad reúne dos elementos distintos: la teoría especial y la teoría general. La teoría especial, sobre la que se apoya la teoría general, se aplica a todos los fenómenos físicos, exceptuada sólo la gravitación. La teoría general ofrece la ley de la gravitación y sus relaciones con las otras fuerzas de la naturaleza.

Desde los tiempos de los antiguos griegos se sabe que, para describir el movimiento de un cuerpo, es preciso utilizar un segundo cuerpo al cual se ha de referir el movimiento del primero. El movimiento de un vehículo es considerado con referencia a la superficie de la Tierra, el de un planeta con respecto a la totalidad de las estrellas fijas visibles. En física, este cuerpo de referencia recibe el nombre de sistema de coordenadas. Las leyes mecánicas de Galileo y Newton, por ejemplo, sólo pueden ser formuladas con la ayuda de un sistema de coordenadas.

No obstante, el movimiento de este sistema de coordenadas no puede ser elegido de modo arbitrario. Para que las leyes de la mecánica sean válidas, tendrá que estar libre de rotación y aceleración. Un sistema de coordenadas admitido en mecánica se denomina "sistema inercial". El estado de movimiento de un sistema inercial, según la mecánica, no

está, sin embargo, determinado unívocamente por la naturaleza. Por el contrario, todo sistema de coordenadas que se mueve uniformemente y en línea recta con respecto a un sistema inercial es, asimismo, un sistema inercial. Con el nombre de "principio de relatividad restringida", se indica la generalización de esta definición a cualquier fenómeno natural: es decir, que toda ley universal válida en relación con un sistema de coordenadas C , también ha de ser válida con relación a un sistema de coordenadas C , siempre que éste esté dotado de un movimiento uniforme de traslación con respecto a C .

El segundo principio en que se apoya la teoría de la relatividad restringida es el "principio de la constancia de la velocidad de la luz en el vacío". Este principio afirma que la luz en el vacío siempre tiene una determinada velocidad de propagación, independiente del estado de movimiento del observador o de la fuente de luz. La confianza que los físicos depositan en este principio surge de los éxitos obtenidos por la electrodinámica de Maxwell y Lorentz.

Estos dos principios están poderosamente apoyados por la experiencia, pero no parecen ser lógicamente conciliables. La teoría de la relatividad restringida, por fin, ha logrado unificarlos lógicamente, a través de una modificación de la cinemática, o sea mediante la doctrina de las leyes que relacionan el espacio y el tiempo (desde el punto de vista de la física). Se comprobó que hablar de la simultaneidad de dos hechos no tiene sentido sino con relación a un sistema de coordenadas dado y que el tamaño de los patrones de medida y la velocidad a que da vueltas el reloj dependen de su estado de movimiento con respecto del sistema de coordenadas.

Pero la antigua física, incluidas las leyes del movimiento de Galileo y Newton, no encajan en la cinemática relativista. De esta última han surgido condiciones matemáticas generales a las que deben adecuarse las leyes naturales, si los dos principios antes mencionados son correctos. La física ha tenido pues que adaptarse. En particular, los científicos han llegado a una nueva ley de movimiento para puntos de masa a grandes velocidades, que ha sido confirmada de un modo admirable en el caso de las partículas con carga eléctrica. El resultado más importante de la teoría de la relatividad restringida se refiere a las masas inertes de los sistemas corpóreos. Se ha determinado que la inercia de un sistema depende necesariamente de su contenido de energía y esto conduce en forma directa a la noción de que la masa inerte es energía latente. El principio de conservación de la masa pierde su independencia y se fusiona con el de conservación de la energía.

La teoría de la relatividad restringida, que es simplemente un desarrollo sistemático de la electrodinámica de Lorentz y Maxwell, apunta hacia más allá de sí misma. ¿La independencia de las leyes físicas del estado de movimiento del sistema de coordenadas ha de restringirse al movimiento uniforme de traslación de cada sistema de coordenadas?

¿Qué relación guarda la naturaleza con nuestros sistemas de coordenadas y su estado de movimiento? Si a fin de describir la naturaleza fuera necesario utilizar un sistema de coordenadas arbitrariamente introducido por nosotros, su estado de movimiento no tendría que estar sujeto a ninguna restricción. Las leyes tendrían que ser por completo independientes de esta elección (principio de la relatividad general).

Este principio de la relatividad general se ha establecido con cierta facilidad gracias a un hecho de la experiencia, conocido desde mucho tiempo: el peso y la inercia de un cuerpo se expresan por la misma constante (igualdad de la masa inerte y de la masa pesante). Imaginemos un sistema de coordenadas que mantiene un movimiento de rotación uniforme con respecto a un sistema inercial a la manera newtoniana. Las fuerzas centrífugas que se manifiestan en relación con este sistema, de acuerdo con las conclusiones de Newton, deben ser consideradas como efecto de la inercia. Pero estas fuerzas centrífugas son proporcionales a las masas de los cuerpos, igual que las fuerzas de la gravedad. ¿No sería posible en este caso considerar que el sistema de coordenadas está en reposo y que las fuerzas centrífugas son fuerzas gravitatorias? Esta interpretación parece muy clara, pero la mecánica clásica la prohíbe.

Esta rápida descripción deja entrever que una teoría de la relatividad general debe proporcionar las leyes de la gravitación y la perseverancia de esta idea ha justificado nuestras esperanzas.

Pero el camino era más arduo de lo que habíamos supuesto, porque ha exigido el abandono de la geometría euclidiana; es decir, que las leyes según las cuales los cuerpos sólidos pueden estar dispuestos en el espacio no concuerdan por completo con las leyes espaciales atribuidas a los cuerpos por la geometría euclidiana. A esto nos referimos al hablar de la "curvatura del espacio". Los conceptos fundamentales de "recta", "plano", etcétera, pierden, por lo tanto, su significado preciso en física.

En la teoría de la relatividad general la ciencia del espacio y del tiempo, o cinemática, ya no se presenta como fundamento independiente del resto de la física. El comportamiento geométrico de los cuerpos y la marcha de los relojes dependen de los campos gravitatorios, que a su vez son producidos por la materia.

La nueva teoría de la gravitación, en lo que se refiere a principios se diferencia considerablemente de la de Newton. Pero sus resultados prácticos concuerdan tan de cerca con los de la teoría de Newton que es difícil hallar criterios de diferenciación accesibles a la experiencia. Hasta el presente se han descubierto:

1. En la revolución de las elipses de las órbitas planetarias en torno al Sol (confirmado en el caso de Mercurio).
2. En la curvatura de los rayos de luz por la acción de los campos gravitacionales (confirmado por las fotografías del eclipse solar de la expedición inglesa).

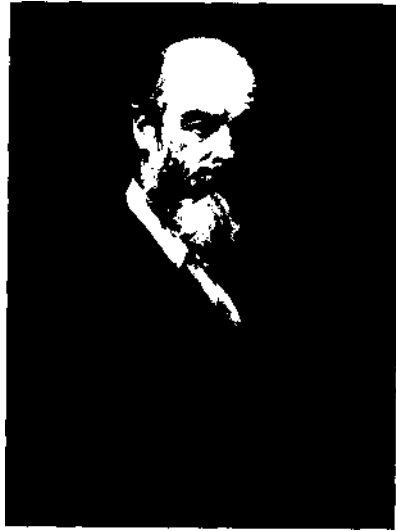
3. En un desplazamiento de las líneas espectrales hacia el extremo rojo del espectro en el caso de la luz transmitida a nosotros desde estrellas de masa considerable (no confirmado hasta el presente).

El atractivo fundamental de la teoría radica en el hecho de que es **completa** desde el punto de vista lógico. Si una sola de las conclusiones **que se** extraigan de ella resulta no ser cierta, tendremos que abandonarla, **pues** modificarla sin destruir toda su estructura parece ser imposible.

Que nadie suponga, sin embargo, que el importante trabajo de **Newton** puede ser invalidado por ésta o por cualquier otra teoría. Sus **grandes** y **lúcidas** ideas retendrán para siempre su significación única como fundamentos de toda nuestra moderna estructura conceptual **dentro** de la esfera de la filosofía natural.»

ALBERT EINSTEIN (Ulm, 1879- Princeton, 1955). Estudió física en el Instituto Politécnico de Zúrich. Al no poder encontrar un puesto académico, tuvo que trabajar como técnico en la Oficina de Patentes de Berna entre 1902 y 1909. Mientras desempeñaba este **oficio** realizó sus célebres contribuciones de 1905: la teoría de la relatividad especial, la introducción de los cuantos de luz, y la explicación del movimiento browniano. Gracias a aportaciones como éstas logró salir del anonimato científico, ocupando cátedras en Zúrich, Praga y Berlín (ésta sin obligaciones docentes, y adjunta a su condición de **miembro** de la Academia Prusiana de Ciencias). En la capital germana llegó a la formulación definitiva del que seguramente fue su resultado científico más original: la teoría **de** la relatividad general, que substituía a la teoría de la gravitación de Newton. Al **acceder** Hitler al poder, renunció a su puesto en Berlín, instalándose en el recién creado **Instituto** de Estudios Avanzados de Princeton, en el estado de Nueva Jersey (Estados **Unidos**), una institución dedicada exclusivamente a la investigación. Obtuvo el premio **Nobel** de Física correspondiente a 1921 «por sus servicios a la física teórica, y específicamente por su descubrimiento de la ley del efecto fotoeléctrico».

46. Indefensión ante lo nuevo (la relatividad):
Lodge



La tarea del aprendiz de científico es dura: debe esforzarse por comprender el cuerpo básico de la disciplina a la que desea dedicarse, pero ese cuerpo básico consiste en multitud de resultados y técnicas. Y cuando ha finalizado su aprendizaje, cuando, mejor o peor, ha logrado almacenar en su cabeza esos conocimientos, su misión más genuina es intentar que todos ellos sean superados, que tengan que ser substituidos por otros. Si no lo hace él (que es, por supuesto, lo más frecuente: la novedad de carácter fundamental es rara), lo harán otros, y así puede ocurrir que, especialmente en su edad madura, se encuentre con áreas de su disciplina que no comprende; incluso aunque lo desee, aunque no esté predispuesto en contra, y todo porque no dispone de los recursos técnicos necesarios para *intentar comprender* (una nueva teoría, por ejemplo).

La historia de la ciencia nos ofrece abundantes ejemplos de estos casos, que para el espíritu sensible tienen mucho de patético. He seleccionado como muestra de este tipo de sucesos, un extracto de una carta que el destacado físico británico Oliver Lodge dirigió a Edmund Whittaker, catedrático de Matemáticas Aplicadas en Edimburgo, en 1929. En ella, como se puede comprobar, Lodge mostraba su indefensión ante las teorías especial y general de la relatividad de Einstein, debido, especialmente, a sus limitados conocimientos de matemáticas. En ambas teorías, y muy en particular en la general, desempeñan un papel central objetos matemáticos denominados tensores, que Lodge no había estudiado en su juventud.

O. Lodge a E. T. Whittaker,
27 de mayo de 1929

«Le agradezco que me enviase su conferencia "Qué es la energía" [E. T. Whittaker, 'What is energy?', *Mathematical Gazette*, abril de 1929, págs. 401-406]. Pero estoy horrorizado al encontrar que no la puedo seguir; esto es, comprenderla completamente. Más bien, me sorprende que los tensores tengan que ser introducidos en conexión con una cosa tan fundamental como la energía. Ni siquiera sé lo que es un tensor. Sé que un vector es un escalar con dirección al igual que magnitud. Uno se ha acostumbrado a utilizar vectores. Pero ¿qué son realmente? ¿Se trata de un *twist* [enroscadura], o lo que Robert Ball denominó un *wrench* [torcedura]? A mi edad no voy a aprender el cálculo tensorial, pase lo que pase. Y me sorprende bastante que la conservación de la energía se haya mezclado con la conservación del momento para lograr una formulación completa.»

Su esperanza era:

«Que más pronto o más tarde se encontrará una forma más sencilla de especificar las cosas fundamentales. Matrices y tensores no son la clase de armas matemáticas que puedo imaginar utilice la posteridad con satisfacción, incluso aunque sean necesidades momentáneas.»

Fue, como sabemos, una vana esperanza. Al menos hasta la fecha.

OUVER LODGE (Penkhull, Staffordshire, 1851- Lake, Salisbury, 1940). Estudió en el Royal College of Science (de donde años más tarde surgiría el Imperial College of Science and Technology) y en el University College, ambos de Londres. Fue nombrado catedrático de Física (la primera cátedra de este tipo que existió en esa institución) en el University College de Liverpool en 1881. En 1900, al crearse la Universidad de Birmingham, Lodge fue designado *first principal*. Se movió fundamentalmente en el campo de las radiaciones electromagnéticas. En 1879 comenzó a buscar la forma de detectar la radiación electromagnética que predecía la teoría de Maxwell, lo que logró en 1888, pero no fue el primero: Hertz le había precedido por muy poco en esto, empleando, además, un método que permitía a las ondas propagarse por el aire, lo que hacía más visible la naturaleza de la radiación electromagnética. Fue el primero en intentar detectar ondas de radio de cuerpos celestes.

47_48. El desvanecimiento de la realidad: Heisenberg y Born



La descripción teórica de los fenómenos del microcosmos alcanzó su primera representación satisfactoria en 1925, de la mano de Werner Heisenberg, entonces un joven de veinticuatro años. Esa representación teórica se denominó «mecánica matricial», y fue la primera forma de mecánica cuántica (en 1926 le siguió la mecánica ondulatoria de Erwin Schrodinger).

Uno de los rasgos más conocidos de la mecánica cuántica es la forma en que se desvía al describir los fenómenos naturales de la denominada «mecánica clásica», basada en las tres leyes de Newton. Así, en lugar de hablar de «trayectorias definidas», en la mecánica cuántica el concepto básico es el de «probabilidad»: la probabilidad de que un suceso ocurra o no, de que una partícula (un electrón, por ejemplo) se encuentre o no en un lugar determinado en un instante concreto. Dos de los momentos fundamentales en semejante abandono de los conceptos clási-

eos, intuitivos, tuvieron que ver con Heisenberg. El primero fue precisamente su artículo de 1925: «Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen» [«Reinterpretación teórico-cuántica de relaciones cinemáticas y mecánicas»], *Zeitschrift für Physik*, 1925, en el que Heisenberg insistía en que la clave para poder describir los fenómenos atómicos se encontraba en la renuncia, por inobservables, a cualquier descripción de las órbitas electrónicas. La sección inicial de este artículo dice lo siguiente:

«Es bien sabido que las reglas formales que se utilizan en la teoría cuántica para calcular magnitudes observables, tales como la energía del átomo de hidrógeno, pueden ser criticadas seriamente en base a que contienen, como elemento básico, relaciones entre magnitudes que son en principio aparentemente inobservables; por ejemplo, la posición y el período de revolución de un electrón. Por tanto, estas reglas carecen de un fundamento físico evidente, salvo que uno quiera retener todavía la esperanza de que magnitudes inobservables hasta ahora puedan penetrar más tarde en el dominio de la determinación experimental. Esta esperanza puede considerarse como justificada si las reglas antes mencionadas fuesen internamente consistentes y aplicables a un rango claramente definido de problemas mecánico-cuánticos. Sin embargo, la experiencia muestra que solamente el átomo de hidrógeno y su efecto Stark son susceptibles de tratamiento mediante estas reglas formales de la teoría cuántica. Surgen ya dificultades fundamentales en el problema de los "campos cruzados" (el átomo de hidrógeno en campos eléctricos y magnéticos con direcciones diferentes). Asimismo, no se puede describir mediante estas reglas la reacción de átomos a campos que varían periódicamente. Finalmente, no se han conseguido extender las reglas cuánticas al tratamiento de átomos que tienen varios electrones.

Se ha convertido en habitual caracterizar este fracaso de las reglas teórico-cuánticas como una desviación con respecto a la mecánica clásica, ya que las propias reglas habían sido derivadas esencialmente de la mecánica clásica. Esta caracterización tiene, no obstante, poco sentido cuando uno se da cuenta de que la condición de la frecuencia de Einstein-Bohr (que es válida en todos los casos) ya representa una desviación tan completa de la mecánica clásica, o más bien (usando el punto de vista de la teoría ondulatoria) de la cinemática que subyace en esta mecánica, que incluso para los problemas teórico-cuánticos más sencillos la validez de la mecánica clásica no puede, sencillamente, mantenerse. En esta situación parece sensato descartar toda esperanza de observar magnitudes hasta el presente inobservables, tales como la posición y el período del electrón, y reconocer que el acuerdo parcial de las reglas cuánticas con la experiencia es más o menos fortuito. En su lugar, parece más

razonable intentar establecer una mecánica cuántica teórica, análoga a la mecánica clásica, pero en la que solamente tengan lugar relaciones entre magnitudes observables. Se puede considerar la condición de la frecuencia y la teoría de la dispersión de Kramers, junto a sus extensiones en artículos recientes, como el primer y más importante paso hacia tal mecánica cuántica teórica. En este artículo, buscaremos establecer algunas relaciones mecánico-cuánticas y aplicarlas al tratamiento detallado de unos pocos problemas especiales. Nos restringiremos a problemas que impliquen un grado de libertad.»

Como indiqué, en 1926 Schrödinger presentó una formulación diferente de mecánica cuántica, la mecánica ondulatoria, que inicialmente pareció poder mantener, aunque algo transformada, la imagen clásica de representar —*visualmente*— los fenómenos y los movimientos físicos. La idea física que subyacía inicialmente en los trabajos de Schrödinger fue resumida adecuadamente por el físico holandés Hendrik A. Lorentz en una carta que éste dirigió a su colega austríaco el 27 de mayo de 1926:

«Su conjetura de que la transformación que tendrá que experimentar nuestra dinámica será similar a la transición de la óptica de rayos a la óptica ondulatoria suena muy tentadora, pero tengo algunas dudas acerca de ella.

Si le he entendido correctamente, entonces una "partícula", un electrón por ejemplo, sería comparable a un paquete de ondas que se mueve con la velocidad de grupo.»

La realidad, partículas como el electrón, pasaban a describirse como «ondas». Diferente a como se interpretaba en la mecánica newtoniana, pero seguían conservando el tipo de realidad que tenían en aquella, sólo que ahora era la realidad —con una mayor extensión espacial— de una onda. Pero tal interpretación realista no duró demasiado. Max Born modificó radicalmente el significado de la «función de onda» utilizada por Schrödinger en un artículo publicado también en 1926: «Zur Quantenmechanik der Stossvorgänge» [«Sobre la mecánica cuántica de las colisiones»], *Zeitschrift für Physik*, 1926. Según la interpretación de Born, el cuadrado de la función de ondas, $\langle \Psi | \Psi \rangle$ es una medida de la densidad de probabilidad de que el sistema se encuentre en el estado representado por Q , que a su vez describe una «situación» cuántica. He aquí los pasajes más relevantes de ese artículo de Max Born:

«Si se interpretan [los resultados obtenidos con la función de ondas de Schrödinger] en términos corpusculares, no hay más que una interpretación posible: $\psi_m(x, y, z)$ da la probabilidad para que el electrón que viene [de cierta dirección] sea enviado a la dirección definida por $x, y, z...$ Así, la mecánica cuántica de Schrödinger da una respuesta precisa a la cuestión del efecto de una colisión, pero no se trata de una relación causal. No se responde a la pregunta: "¿Cuál es el estado después de la colisión?", sino más bien a la pregunta: "¿Cuál es la probabilidad de obtener un efecto dado después de una colisión?"...

Aquí se plantea todo el problema del determinismo. Desde el punto de vista de nuestra mecánica cuántica, no existe ninguna magnitud que, en un caso particular, determine causalmente el efecto de una colisión. Asimismo, la experiencia no nos da ninguna indicación de que una propiedad interna del átomo determine un resultado dado para una colisión. ¿Debemos esperar que se descubran más tarde tales propiedades... y que ciertos casos particulares puedan ser determinados? ¿O debemos creer que la incapacidad, compartida tanto por la teoría como por la experiencia, de encontrar las condiciones de un desarrollo causal proviene de una armonía preestablecida, que reposa en la inexistencia de tales condiciones? En lo que se refiere a mí, soy de la opinión de renunciar al determinismo en el dominio atómico. Pero esta es una posición filosófica, para la cual sólo los argumentos físicos son insuficientes.»

La realidad clásica de los objetos físicos terminó por desvanecerse con un nuevo artículo de Heisenberg: «Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik» [«El contenido físico de la cinemática y la mecánica cuántica»], *Zeitschrift für Physik*, 1927. En él, Heisenberg demostró sus célebres «relaciones de incertidumbre», que afirman que magnitudes como la posición y el momento, o la energía y el tiempo, sólo se pueden determinar simultáneamente con una indeterminación característica (la constante de Planck): $\Delta q \cdot \Delta p > h$. A partir de este resultado, al final de su artículo, Heisenberg extraía una conclusión con implicaciones filosóficas de largo alcance:

«No hemos supuesto que la teoría cuántica es, al contrario de la física clásica, una teoría esencialmente estadística en el sentido de que sólo se pueden inferir conclusiones estadísticas de datos exactos, ya que tal suposición se ve refutada, por ejemplo, por los conocidos experimentos de Geiger y Bothe. Sin embargo, en la formulación fuerte de la ley causal "Si conocemos exactamente el presente, podemos predecir el futu-

ro", no es la conclusión, sino más bien la premisa la que es falsa. *No podemos* conocer, por cuestiones de principio, el presente en todos sus detalles. Por esa razón todo lo observado es una selección de una plenitud de posibilidades y una limitación de lo que es posible en el futuro. En vista de la íntima relación entre el carácter estadístico de la teoría cuántica y la imprecisión de toda percepción, se podría suponer que detrás del Universo estadístico de la percepción se esconde un mundo "real" regido por la causalidad. Tales especulaciones nos parecen —y hacemos hincapié en esto— inútiles y sin sentido, ya que la física tiene que limitarse a la descripción formal de las relaciones entre percepciones.»

WERNER KARL HEISENBERG (Duisberg, 1901- Munich, 1976). Estudió física teórica en **Munich**, con Arnold Sommerfeld, con quien se doctoró en 1923. Inmediatamente, pasó a **Gotinga**, como ayudante de Max Born. En aquella época, también pasó temporadas con Niels Bohr en Copenhague. En 1927, después de haber desarrollado la primera versión de mecánica cuántica (la mecánica matricial, 1925), obtuvo una cátedra de Física en **Leipzig**. Obtuvo el premio Nobel de Física correspondiente a 1932. Entre 1942 y 1945 fue director del Instituto de Física Max Planck de Berlín, y a partir de 1946 del de **Gotinga**, que en 1958 fue trasladado a Munich. Mantuvo este puesto hasta 1970.

MAX BORN (Breslau, 1882- Gotinga, 1970). Se doctoró en física y astronomía en Gotinga en 1907. Obtuvo su primera cátedra de Física en 1919 (Frankfurt del Meno), en una época en la que su trabajo se centraba en la física de los cristales. En 1921 se trasladó, también como catedrático, y ya dedicado a los problemas de la estructura de la materia y la radiación, a la más prestigiosa Universidad de Gotinga. En 1933, con la llegada al poder de Hitler, tuvo que abandonar Alemania, instalándose finalmente en la Universidad de Edimburgo como catedrático de Filosofía Natural (nombre que todavía designaba allí a la física). En 1954 recibió el premio Nobel de Física por «sus investigaciones fundamentales en la mecánica cuántica, especialmente por su interpretación estadística de la función de ondas».

49. Física cuántica y filosofía: Bohr



El físico danés Niels Bohr es considerado como uno de los padres de la teoría cuántica: a él se debe, en efecto, un logro tan significativo como el primer modelo atómico (1913) que tomó en consideración el cuanto de Planck, y que podía explicar algunas de las regularidades conocidas en el espectro del hidrógeno. Todavía utilizamos en algunos niveles este modelo, aunque conozcamos muy bien sus limitaciones. No fue, por supuesto, ésta su única contribución a la física (cabe señalar, por ejemplo, sus trabajos en la explicación de la estructura de la tabla periódica de los elementos), pero yo quiero recordarle por su aportación a la interpretación de la mecánica cuántica, que ocupó una parte considerable de su tiempo a partir de la segunda mitad de la década de los años veinte, tras los trabajos de Heisenberg, que había sido colaborador suyo en su Instituto de Física de Copenhague, centro que con el tiempo se convirtió en algo así como un lugar de peregrinación y al que se dirigían, en

un momento u otro de sus carreras, prácticamente todos los físicos cuánticos del mundo. Intentando dar una interpretación acabada de la nueva mecánica, tan radicalmente diferente de la newtoniana, Bohr penetró en un universo conceptual que era científico, por supuesto, pero también filosófico; se convirtió en definitiva en un físico-filósofo. Y tuvo bastante éxito: a él se debe en gran medida la interpretación canónica de la mecánica cuántica, que, de hecho y en honor suyo, se denomina «interpretación de Copenhague».

El texto que sigue pertenece a esta faceta de la producción de Bohr. En él aparecen conceptos tan bohrianos como el de «complementariedad»; adviértase también —en el párrafo final de la cita— como el científico danés intentaba extrapolar esa característica del mundo cuántico a otros dominios de la realidad.

«Quantum physics and philosophy: causality and complementarity» (1958)
(«Física cuántica y filosofía: causalidad y complementariedad»)

«Una nueva época se inauguró en la ciencia física gracias al descubrimiento, realizado por Planck, del *cuanto elemental de acción*, el cual revelaba un rasgo de *integridad* inherente a los procesos atómicos, que desborda la antigua idea de la divisibilidad de la materia. Quedó claro en seguida que la descripción visual de las teorías de la física clásica representa una idealización válida únicamente para fenómenos en cuyo análisis todas las acciones implicadas son lo suficientemente grandes como para permitir desprestigiar el cuanto. Mientras que esta condición se cumple ampliamente en los fenómenos que ocurren a escala ordinaria, al realizar experimentos con partículas atómicas nos encontramos con regularidades de un nuevo tipo, incompatibles con el análisis determinista. Estas leyes cuánticas determinan las peculiares estabilidad y reacciones de los sistemas atómicos, y de ellas dependen en definitiva las propiedades de la materia sobre las que se basan nuestros medios de observación.

El problema con el que se enfrentaron los físicos fue, por un lado, desarrollar una generalización racional de la física clásica que permitiera la incorporación armoniosa del cuanto de acción. Tras una exploración preliminar de los hechos experimentales por medios más primitivos, esta difícil tarea quedó finalmente resuelta gracias a la introducción de apropiadas abstracciones matemáticas. Así, en el formalismo cuántico,

las magnitudes que definen ordinariamente el estado de un sistema físico se reemplazan por operadores simbólicos sometidos a un algoritmo no conmutativo, en el que interviene la constante de Planck. Este procedimiento no permite una fijación del valor de dichas magnitudes hasta el grado que se requeriría en la descripción determinista de la física clásica, pero hace posible calcular la distribución espectral de sus valores tal como revela la evidencia experimental de los procesos atómicos. En conformidad con el carácter no intuitivo del formalismo, su interpretación física se expresa por leyes de un tipo esencialmente estadístico, relativas a observaciones obtenidas en condiciones experimentales dadas.

A pesar del poder de la mecánica cuántica para ordenar la inmensa cantidad de datos experimentales referentes a los fenómenos atómicos, su distanciamiento respecto a la tradicional demanda de explicación causal ha dado origen, naturalmente, a la cuestión de si estamos o no ante una descripción exhaustiva de la experiencia física. La respuesta a esta pregunta exige evidentemente un examen más detallado de las condiciones que permiten el uso inequívoco de los conceptos de la física clásica en el análisis de los fenómenos atómicos. Lo decisivo es reconocer que la descripción del montaje experimental y del registro de las observaciones debe darse en lenguaje llano, convenientemente refinado con la terminología física actual. Esto es una simple exigencia lógica, puesto que por la palabra "experimento" debemos entender sólo un procedimiento respecto al cual podamos comunicar a otras personas lo que hemos hecho y lo que hemos aprendido.

En los montajes experimentales de laboratorio, el cumplimiento de tales condiciones queda asegurado utilizando como instrumentos de medida cuerpos rígidos suficientemente masivos que permitan una descripción clásica de sus posiciones y velocidades relativas. En relación con esto es también esencial recordar que toda información inequívoca referente a objetos atómicos se obtiene a partir de marcas permanentes —tales como una mancha sobre una placa fotográfica, producida por el impacto de un electrón— dejadas sobre los cuerpos que definen las condiciones experimentales. Lejos de entrañar cualquier complejidad especial, los efectos de amplificación irreversible en los que se basa el registro de la presencia de objetos atómicos nos recuerda más bien la esencial irreversibilidad inherente al propio concepto de observación. La descripción de los fenómenos atómicos tiene a este respecto un carácter perfectamente objetivo, en el sentido de que no es necesario hacer referencia explícita a ningún observador individual y que, por tanto, con el debido respeto a las exigencias relativistas, no hay ninguna ambigüedad en la comunicación de informaciones.

Por lo que se refiere a estos aspectos, el problema de la observación en física cuántica no difiere en nada del tratamiento que le da la física

clásica. El único rasgo esencialmente nuevo en el análisis de los fenómenos cuánticos es, sin embargo, la introducción de una *distinción fundamental entre el aparato de medida y los objetos investigados*, lo que aparece como consecuencia directa de la necesidad de explicar las funciones de los instrumentos de medida en términos puramente clásicos, excluyendo en principio toda consideración respecto al cuanto de acción. Por su parte, los rasgos cuánticos del fenómeno aparecen en la información que se deriva de las observaciones de los objetos atómicos. Mientras que en el campo de la física clásica cabe despreciar la interacción entre objeto y aparato, o en todo caso puede compensarse, en física cuántica ocurre que esta interacción forma parte inseparable del fenómeno. De acuerdo con esto, la explicación inequívoca de los fenómenos cuánticos debe incluir, en principio, una descripción de todos los detalles pertinentes del montaje experimental.

El hecho de que la repetición de un mismo experimento definido de la manera indicada, facilita en general informaciones diferentes que pertenecen al mismo objeto, implica inmediatamente que una explicación completa en este campo debe expresarse por medio de leyes estadísticas. Apenas hace falta insistir en que no estamos ante un caso análogo al recurso que se hace de la estadística en la descripción de aquellos sistemas físicos cuya estructura es tan compleja que hace impracticable la definición completa de su estado, necesario para una descripción determinista. En el caso de los fenómenos cuánticos, la divisibilidad ilimitada de los sucesos implicados en tal explicación queda excluida, en principio, por el requerimiento de especificar las condiciones experimentales. De esta manera, el carácter de integridad típica de los fenómenos cuánticos encuentra su expresión lógica en la circunstancia de que cualquier intento hacia una subdivisión bien definida exigiría un cambio en el montaje experimental, incompatible con la definición de los fenómenos que se están investigando.

Dentro del campo de la física clásica, todas las propiedades características de un objeto dado se pueden investigar en principio mediante un único montaje experimental, aunque en la práctica suele ser conveniente instalar diversos montajes para el estudio de los diferentes aspectos de los fenómenos. De hecho, los datos obtenidos de tal forma se complementan simplemente entre sí y pueden combinarse de forma consistente con la conducta del objeto investigado. En física cuántica, sin embargo, los datos de los objetos atómicos con diversos montajes experimentales exhiben una nueva clase de relación complementaria. Además, debe reconocerse que tal evidencia experimental, que parece contradictoria cuando se intentan combinar los datos en una sola imagen, agota todo el conocimiento concebible referente al objeto. Así ocurre que, lejos de restringir nuestras posibilidades de plantear cuestiones a la naturaleza en forma de experimentos, la noción de *complementariedad* caracteriza simplemente las respuestas que podemos recibir de tal pes-

quiza, siempre que tengamos en cuenta que la interacción entre los instrumentos de medida y los objetos forma parte integral de los fenómenos.

Aunque la descripción clásica del montaje experimental y la irreversibilidad de la información referente a los objetos atómicos aseguran una secuencia de causa y efecto conforme a las exigencias elementales de causalidad, hay que señalar que el abandono irrevocable del ideal del determinismo encuentra una notable expresión en la relación de complementariedad que gobierna el uso inequívoco de los conceptos fundamentales sobre los que descansa la capacidad de combinación, sin restricciones, típica de las descripciones de la física clásica. De esta forma, la investigación de la presencia de una partícula atómica en un dominio limitado de espacio-tiempo exige un montaje experimental que entraña una transferencia de cantidad de movimiento y de energía con cuerpos tales como escalas fijas y relojes sincronizados, transferencia que no puede incluirse en la descripción del funcionamiento de dichos cuerpos, si es que éstos van a servir para definir el sistema de referencia. Recíprocamente, toda aplicación estricta de las leyes de conservación de la cantidad de movimiento y de la energía a los procesos atómicos implica, en principio, una renuncia a la coordinación detallada de las partículas en el espacio y en el tiempo.

Estas circunstancias encuentran su expresión cuantitativa en las relaciones de incertidumbre de Heisenberg que, en la mecánica cuántica, especifican los márgenes recíprocos de fijación de valores de las variables cinemáticas y dinámicas requeridas para la definición del estado de un sistema en mecánica clásica. De hecho, la conmutabilidad limitada de los símbolos que representan tales variables en el formalismo cuántico se corresponde con la exclusión mutua de los montajes experimentales necesarios para su definición inequívoca. En este punto no nos enfrentamos con una restricción debida a la precisión de las medidas, sino con una limitación de la aplicación de los conceptos de espacio-tiempo y de las leyes dinámicas de conservación, ocasionada por la distinción que es necesario hacer entre instrumentos de medida y objetos atómicos...

En una perspectiva filosófica general, resulta significativo que, por lo que se refiere a los problemas de análisis y síntesis en otros campos del conocimiento, nos enfrentamos con situaciones que evocan lo que sucede en física cuántica. Así, la integridad de los organismos vivos y las características de los seres conscientes y de las culturas humanas presentan rasgos de integridad, cuya explicación implica un típico modo complementarista de descripción. Debido al diverso uso que se hace del rico vocabulario disponible para la comunicación de experiencias en esos campos más amplios, y, sobre todo, a las distintas interpretaciones del concepto de causalidad en la literatura filosófica, el propósito de tales comparaciones ha sido a veces mal entendido. Sin embargo, el desarro-

llo gradual de una terminología apropiada para la descripción de las situaciones más simples de la ciencia física indica que no estamos tratando con analogías más o menos vagas, sino con ejemplos claros de relaciones lógicas que aparecen en contextos diferentes, en campos más amplios.»

NIELS BOHR (Copenhague, 1885- Copenhague, 1962). Tras doctorarse en física en su ciudad natal (1911), amplió estudios (1911-1912) en Inglaterra, primero, y muy brevemente, en Cambridge, y luego en Manchester con Ernest Rutherford, que acababa de desarrollar su modelo atómico planetario. La relación con Rutherford fue tan satisfactoria que Bohr volvió a Manchester en 1914, permaneciendo como *reader* (equivalente a profesor agregado) hasta 1916. Regresó entonces a Copenhague para ocupar una cátedra y dirigir, desde 1920, un nuevo instituto de física, creado para él. Obtuvo el premio Nobel de Física correspondiente a 1922 «por sus servicios en la investigación de la estructura de los átomos y de la radiación que emana de ellos».

50. Dios no juega a los dados: Einstein a Born

Albert Einstein a Max Born,
4 de diciembre de 1926

«La mecánica cuántica obliga a que se la respete. Pero una voz interior me dice que todavía no es la cosa real. La teoría nos aporta muchas cosas, pero apenas nos acerca al secreto del Viejo. De todas maneras, yo estoy convencido de que Él, al menos, no juega a los dados.»



Hemos visto en la sección precedente cómo el riguroso determinismo de la física clásica (newtoniana y relativista) se desvanecía en la cuántica, de la mano de la interpretación probabilista de la función de ondas introducida por Max Born. No todos aceptaron semejante interpretación, aunque con el tiempo, por la fuerza de los hechos (su éxito en la explicación de los fenómenos del microcosmos), la inmensa mayoría terminó admitiéndola. Entre los «disidentes», destaca uno, que no aceptó nunca (aunque reconocía sus éxitos) que el carácter estadístico de la nueva física fuese definitivo, y no producto de nuestra ignorancia, o, lo que es lo mismo, consecuencia de disponer de una teoría todavía incompleta. Se trata de Albert Einstein. Una de sus manifestaciones «anti-probabilistas» más célebres, es la que realizó en una carta que escribió a Max Born en 1926:

51. La pasión por conocer: Russell



Al igual que muchas personas de mi generación, Bertrand Russell ocupa un lugar de privilegio en mi santoral laico (no estoy nada seguro de que esta expresión le hubiese gustado al autor de *¿Por qué no soy un cristiano?*). Nadie como él buscó y ansió tanto. Desmesuradamente humano, su vida y obra se confunden con la historia del casi un siglo que vivió. No podía, en consecuencia, permanecer al margen de este libro. Pero, ¿qué texto recuperar de su ingente obra? ¿algún pasaje de uno de sus escritos sobre matemática, a la que tanto aportó, o de aquellos que dedicó a ciertos aspectos de la física, universo que exploró más como un curioso y filósofo de la ciencia que como un científico? Era muy grande la tentación de seleccionar algunos párrafos de obras suyas como *Los principios de la matemática* (1903), libro en el que esbozó las principales ideas que desarrollaría poco después, en colaboración con Alfred North Whitehead, en el monumental *Principia Mathematica* (1910-

1913). Al fin y al cabo, en obras como éstas Russell se esforzó por llevar a buen puerto el ambicioso y gigantesco programa (logicista) de reducir la matemática a la lógica, un programa que finalmente fracasaría, especialmente una vez que Kurt Gödel demostró en 1931 su famoso teorema de incompletud, que afirma la imposibilidad de formalizar completamente la aritmética en un sistema consistente de axiomas y reglas de inferencia. En lugar de elegir cualquiera de estos textos, he optado por uno, muy breve, en el que Russell expresó lo que había constituido la esencia de su vida, en la que la búsqueda del conocimiento desempeñó un papel muy importante, aunque no el exclusivo: el «Prólogo» al primero de los tres tomos de su autobiografía. Hubo antes que Russell —y los habrá después— intelectos más poderosos que el suyo (nos hemos encontrado ya con más de uno); pero mucho más difícil es encontrar la grandeza que revela la forma en que pretendió aunar conocimiento y humanidad, comprensión analítica y compasión. Las líneas siguientes son un magnífico ejemplo de ello.

Autobiography (1967) (*Autobiografía*) ; del «Prólogo»
(«Para qué he vivido»)

«Tres pasiones, simples pero irresistiblemente fuertes, han gobernado mi vida: el ansia de amor, la búsqueda de conocimiento y una insoportable piedad por el sufrimiento de la humanidad. Estas pasiones me han llevado, como grandes vendavales, de aquí para allá, por un caprichoso camino, a través de un profundo océano de angustia, llegando al mismo borde de la desesperación.

He buscado amor, primero, porque trae éxtasis, un éxtasis tan grande que a menudo habría sacrificado el resto de mi vida por unas pocas horas de esta alegría. Lo he buscado, en segundo lugar, porque mitiga la soledad, esa terrible soledad en la que nuestra temblorosa conciencia mira, más allá del límite del mundo, al abismo frío, insondable y sin vida. Lo he buscado, finalmente, porque en la unión del amor he visto, en una mística miniatura, una protovisión del cielo que los santos y los poetas han imaginado. Esto es lo que busqué, y aunque puede parecer demasiado bueno para la vida humana, esto es, al menos, lo que he encontrado.

Con igual pasión he buscado conocimiento. He deseado comprender el corazón de los hombres. He deseado saber por qué brillan las estrellas. Y he tratado de comprender el poder pitagórico mediante el cual el número domina el flujo. Un poco de esto, aunque no mucho, he logrado.

Amor y conocimiento me transportaron, tanto como fue posible, hacia los cielos. Pero la piedad siempre me trajo de regreso a la tierra. Reverberan en mi corazón ecos de los gritos de sufrimiento. Niños hambrientos, víctimas torturadas por opresores, ancianos desamparados que constituyen una odiada carga para sus hijos, y todo un mundo de soledad, pobreza y sufrimiento hacen que la vida parezca una burla de lo que debería ser. Ansio aliviar el mal, pero no puedo, y yo también sufro.

Esta ha sido mi vida. He encontrado que merece la pena vivirla, y alegremente la viviría de nuevo si se me ofreciese la oportunidad.»

BERTRAND ARTHUR WILLIAM RUSSELL (Trelleck, Monmouthshire, País de Gales, 1872- Pías Penrhyn, Merionethshire, País de Gales, 1970). Nació en el seno de una familia aristocrática de tradición progresista. En 1890 ingresó en el Trinity College de Cambridge, donde su genio fue reconocido inmediatamente. En 1893 se graduó en matemáticas y el año siguiente en filosofía. Designado en 1910 *lecturer* (equivalente a profesor adjunto) de lógica y filosofía de las matemáticas por su college, fue desposeído de este puesto en 1916, como consecuencia de su defensa del pacifismo durante la primera guerra mundial, postura que le acarreó asimismo seis meses de cárcel. Además de la matemática y la filosofía se ocupó en sus escritos de otras muchas disciplinas, como la teoría política, sociología o religión. Recibió el premio Nobel de Literatura correspondiente a 1950 «en reconocimiento a sus variados y significativos escritos en los que defiende ideales humanitarios y la libertad de pensamiento».

52. El valor (inmortal) de la matemática: Hardy



Los procedimientos y resultados matemáticos poseen tal seguridad, claridad e inevitabilidad —dentro de su estructura interna, de los axiomas sobre los que se construyen— que dan reposo intelectual a aquellos que pueden acceder a ellos. Precisamente por esa firmeza se argumentó durante mucho tiempo que la matemática no es realmente una ciencia, no al menos como lo puede ser la química, la fisiología, la geología o la física. Mientras éstas serían sistemas de proposiciones *a posteriori*, falibles, la matemática sería *a priori*, tautológica e infalible. «La lógica no observa, ni inventa, ni descubre; pero juzga», escribió en su célebre *A System of Logic* (1843) John Stuart Mill. Ya en nuestro siglo, en 1931, Kurt Gödel, como he comentado hace bien poco, a propósito de Bertrand Russell, mostró que existen límites a semejante seguridad, pero esa es otra cuestión, que no impide la existencia de sentimientos muy especiales con relación al valor y el significado de la matemática. Senti-

mientos como los que expresó el eminente matemático inglés Godfrey H. Hardy, quien, como veremos en seguida, insistió en la dimensión inmortal que posee la matemática.

En más de un sentido, indudablemente la matemática es más permanente, más inmortal que, por ejemplo, la literatura, pero a mí me parece que tampoco hay que dar demasiada importancia a esa permanencia e inmortalidad. La literatura —la buena, naturalmente— es, para la mayoría de las personas, más próxima porque nos habla de nosotros mismos, de nuestras pasiones, de nuestras alegrías y miserias, de nuestros tedios y de nuestras ilusiones; las obras literarias nos hacen, durante algunos momentos, más felices o más desgraciados, siempre más perspicaces y más profundamente humanos. Yo no sé, naturalmente, si dentro de algunas décadas, cientos o miles de años nuestra especie habrá olvidado a Homero, Esquilo, Thomas Mann, Cervantes o Elias Canetti, mientras que sí recordará —supongo (o espero) que sí— a Euclides, Newton, Gauss, Cauchy, Riemann o Poincaré. Pero no importa aunque así sea. De lo que se trata es de comprender por qué Hornero es un nombre más familiar que el de Newton (¡nada menos que el gran Newton!). Más familiar, que no más importante. No quiero, en modo alguno, un mundo que ignore a Newton, pero menos deseo uno en el que Hornero o Cervantes no tengan cabida. La ciencia nos hace más sabios, y, en consecuencia mejores, pero no siempre, o no necesariamente, más humanos.

Pero dejemos ya hablar a Hardy.

A Mathematician's Apology (1940) [*La apología de un matemático*]; del capítulo 8

«Si la curiosidad intelectual, el orgullo profesional y la ambición son los incentivos dominantes para la investigación, entonces sin duda que nadie tiene mejores oportunidades de encontrar satisfacción que un matemático. Su tema es el más curioso de todos: no existe ninguno en el que la verdad juegue bromas tan extrañas. Posee la técnica más elaborada y más fascinante, y ofrece oportunidades sin paralelo para mostrar habilidad profesional pura. Por último, como ha demostrado abundantemente la historia, cualquiera que sea su valor intrínseco, es el más permanente de todos [los estudios].

Podemos ver esto incluso en civilizaciones semihistóricas. Las civilizaciones babilónica y asiria han perecido; Hammurabi, Sargón y Nabucodonosor son nombres vacíos; y sin embargo, la matemática babilónica

iónica todavía es interesante, y la escala babilónica de 60 aún se utiliza en astronomía. Pero, por supuesto, el caso crucial es el de los griegos.

Los griegos fueron los primeros matemáticos que aún son "reales" para nosotros en la actualidad. La matemática oriental puede ser una interesante curiosidad, pero la griega es lo verdadero. Los griegos hablaron por primera vez el idioma que los matemáticos modernos pueden comprender; como me dijo una vez Littlewood, no son inteligentes colegiales o "candidatos a una beca", sino "miembros [*fellows*] de otro college". La matemática griega es "permanente", más permanente incluso que la literatura griega. Arquímedes será recordado cuando Esquilo sea olvidado, porque los idiomas mueren pero no las ideas matemáticas. "Inmortalidad" puede ser una palabra estúpida, pero probablemente sea un matemático quien tenga la mejor oportunidad de comprender lo que quiere decir.

Tampoco debe el matemático temer muy seriamente que el futuro sea injusto con él. La inmortalidad es a menudo ridícula o cruel: pocos de nosotros habrían elegido ser Og, o Ananías, o Galio. Incluso en la matemática, la historia juega a veces extraños trucos; Rolle figura en los textos elementales de cálculo como si hubiese sido un matemático de la talla de Newton; Farey es inmortal porque no pudo comprender un teorema que Haros había demostrado perfectamente catorce años antes; los nombres de cuatro respetables noruegos todavía figuran en la *Vida* de Abel, debido simplemente a un acto de consciente imbecilidad, ejecutado obedientemente a costa del hombre más grande de su país. Pero en conjunto, la historia de la ciencia es justa, y esto es particularmente cierto en la matemática. Ninguna otra disciplina posee estándares más definidos y unánimemente aceptados, y las personas que son recordadas son casi siempre las que lo merecen. La fama matemática, si usted tiene algún dinero que invertir en ella, es la más razonable y segura de las inversiones.»

GODFREY HAROLD HARDY (Cranleigh, Surrey, 1877- Cambridge, 1947). Estudió en Cambridge, en el Trinity College. En 1919 fue elegido para ocupar la cátedra Saviliana de Geometría en Oxford, donde permaneció hasta 1931, cuando regresó a su querido Cambridge como catedrático Sadleriano de Matemática Pura. Se distinguió especialmente en dos campos de esta especialidad: el análisis y la teoría de números. A su justa fama contribuyó la colaboración que mantuvo con el genio matemático indio Srinavasa Ramanujan.

53. Física y belleza matemática: Dirac



Paul Dirac fue uno de los creadores de la mecánica cuántica, y uno de los físicos más distinguidos de nuestro siglo. Por tal motivo no habría que buscar más justificaciones a su inclusión en esta antología, pero al margen de sus contribuciones a la física merece la pena detenerse en su persona por la manera en que llegó a algunas de ellas, y por la intensidad con que defendió su particular método, que ilustra de forma paradigmática un modo de entender la investigación en física teórica que tiene que ver con uno de los problemas más profundos que en mi opinión existen: el de la relación entre la naturaleza y las matemáticas.

Para cumplir con su objetivo de describir los fenómenos que tienen lugar en la naturaleza, y predecir las condiciones en que tales fenómenos se volverán a producir, la ciencia —y a la cabeza la física— recurre a leyes que se expresan matemáticamente. Ahora bien, las estructuras matemáticas posibles son infinitas, no así las leyes que esperamos formular para

describir la naturaleza. Si la física se distingue de la matemática es precisamente porque en aquella es preciso seleccionar, eliminar, relaciones matemáticas para las que no encontramos correlatos en la naturaleza. Dicho de otra manera: las leyes de las ciencias naturales son —al menos por el momento— un subconjunto de todas las leyes y las estructuras matemáticas imaginables; lo que es matemáticamente posible, no tiene por qué serlo físicamente. Podría haber sido de otra forma: que ambas coincidiesen, pero parece que no es así. Aunque también podríamos pensar —como acaso opinase el propio Dirac— que coinciden realmente, pero que todavía no se han descubierto los fenómenos naturales a los que aguarda su estructura matemática.

En cuanto a la cuestión de cómo encontrar las leyes matemáticas que obedece la naturaleza, existen diferentes mecanismos, siendo el más extendido aquel en el que las observaciones desempeñan un papel que, de alguna manera, es previo y directriz. Pero existe otro tipo de aproximación, en el que la matemática es más importante, como guía «heurística» que nos propone posibles ecuaciones matemáticas para esas leyes. Ahora bien, ¿en qué ecuaciones, de entre las infinitas existentes, nos debemos fijar? Dirac pensaba que un criterio de selección era el de la «belleza» de las ecuaciones. Claro está que ¿qué quiere decir la «belleza» de una ecuación? Steven Weinberg, por ejemplo, manifestó en cierta ocasión: «A veces... he oído opiniones que me ponen nervioso, porque hablan acerca de que la belleza de la matemática inspira a la física. Bien, esto puede ser cierto para algunos físicos, pero me parece que en este punto se produce una ligera confusión. Lo que a veces inspira al teórico es la belleza de un principio teórico. Los principios teóricos que subyacen en la termodinámica son bellos. No creo que la formulación matemática particular en términos de $dS=dQ/T$ inspire algún afecto.»

Tenía razón Weinberg, pero, de todas maneras, el caso es que Dirac aplicó en algunas ocasiones su criterio de belleza con notable éxito; cuando, por ejemplo, formuló su versión de la mecánica cuántica, en la que la no conmutatividad y los corchetes de Poisson desempeñaban un papel central, y cuando encontró la denominada ecuación relativista del electrón (1928). Merece la pena, en consecuencia, leer lo que decía sobre estas cuestiones, repito, tan importantes.

«The relation between mathematics and physics» («La relación entre matemáticas y física»), *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* (1938-1939)

«En su estudio de los fenómenos naturales, el físico tiene dos métodos para progresar: (1) el método de experimento y observación, y (2) el método de razonamiento matemático. El primero es simplemente la reunión de datos selectos; el segundo nos permite inferir resultados de experimentos que no se han realizado. No existe razón lógica por la que el segundo método tenga que ser posible, pero se ha demostrado en la práctica que funciona con notable éxito. Esto debe adscribirse a alguna *calidad matemática en la Naturaleza*, una cualidad que el observador ocasional de la Naturaleza no sospecharía, pero que sin embargo desempeña un importante papel en el esquema de la misma.

Se puede describir la cualidad matemática en la Naturaleza diciendo que el Universo está constituido de tal manera que la matemática es un instrumento útil para describirlo. Sin embargo, avances recientes en la ciencia física demuestran que esta manifestación es demasiado trivial. La conexión entre la matemática y la descripción del Universo es más profunda que esto, y se puede obtener una apreciación de ella solamente mediante un examen cuidadoso de los diversos factores que la constituyen...

Tomemos como punto de partida ese esquema de ciencia física que era aceptado de manera general en el último siglo: el esquema mecánico. Éste considera todo el Universo como un sistema dinámico (por supuesto, extremadamente complicado), sujeto a leyes del movimiento que son esencialmente de tipo newtoniano. El papel de la matemática en este esquema es representar las leyes del movimiento mediante ecuaciones, y obtener soluciones de éstas referidas a las condiciones observadas.

La idea dominante en esta aplicación de la matemática a la física es que las ecuaciones que representan las leyes del movimiento *deberían tener una forma sencilla*. Todo el éxito del esquema se debe al hecho de que las ecuaciones de forma sencilla parecen funcionar. El físico se ve provisto de esta manera de un *principio de simplicidad*, que puede utilizar como instrumento de investigación. Si obtiene, mediante algún tosco experimento, datos que ajusta burdamente con algunas ecuaciones sencillas, infiere que si realizase el experimento con mayor precisión obtendría datos que se amoldarían de manera más precisa a las ecuaciones. El método es, no obstante, muy restringido, ya que el principio de simplicidad se aplica solamente a las leyes fundamentales del movimiento, no a los fenómenos naturales en general. Por ejemplo, experimentos toscos sobre la relación entre la presión y el volumen de un

gas a temperatura fija dan resultados compatibles con una ley de proporcionalidad inversa, pero sería erróneo inferir que experimentos más precisos confirmarían esta ley con mayor precisión, ya que aquí se está tratando con un fenómeno que no se encuentra relacionado de forma muy directa con las leyes fundamentales del movimiento.

El descubrimiento de la teoría de la relatividad hizo necesario modificar el principio de simplicidad. Presumiblemente, una de las leyes fundamentales del movimiento es la ley de gravitación que, según Newton, se representa por una ecuación muy sencilla, pero que, según Einstein, necesita del desarrollo de una elaborada técnica antes de que su ecuación pueda ser incluso escrita. Es cierto que, desde el punto de vista de la matemática superior, se pueden dar razones en favor de la opinión de que la ley de gravitación de Einstein es de hecho más sencilla que la de Newton, pero esto implica asignar un significado algo sutil a la simplicidad, que estropea bastante el valor práctico del principio de simplicidad como un instrumento de investigación en los fundamentos de la física.

Lo que hace que la teoría de la relatividad sea aceptable para los físicos a pesar de que vaya en contra del principio de simplicidad es su gran *belleza matemática*. Es ésta una cualidad que no se puede definir, no más de lo que se puede definir en arte la belleza, pero que las personas que estudian matemáticas no tienen normalmente ninguna dificultad en identificar. La teoría de la relatividad introduce belleza matemática en un grado sin precedentes en la descripción de la Naturaleza. La teoría restringida cambió nuestras ideas de espacio y tiempo de una forma que se puede resumir diciendo que el grupo de transformaciones al que está sujeto el continuo espacio-tiempo debe cambiar del grupo de Galileo al grupo de Lorentz. Este último grupo es una cosa mucho más bella que el otro (de hecho, matemáticamente aquel debería ser denominado como un caso especial degenerado del de Lorentz). La teoría de la relatividad general implica otro paso de un carácter bastante similar, aunque en esta ocasión no se considera normalmente que el aumento de belleza sea tan grande como con la teoría restringida, debido a que no se cree tan firmemente en la teoría general como en la especial.

Vemos así que hemos cambiado el principio de simplicidad por el *principio de belleza matemática*. El investigador, en sus esfuerzos por expresar las leyes fundamentales de la Naturaleza de forma matemática, debería buscar siempre la belleza matemática. Debería tomar en cuenta todavía la simplicidad, pero de forma subordinada a la belleza. (Por ejemplo, al escoger una ley de gravitación, Einstein tomó la más sencilla compatible con el continuo espacio-tiempo, y tuvo éxito.) A menudo sucede que los requisitos de simplicidad y belleza son los mismos, pero cuando chocan entre sí, es el segundo el que debe ser prioritario.

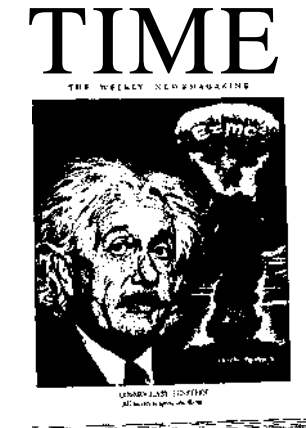
54. Energía nuclear y política: Einstein y Roosevelt

Pasemos ahora a la segunda revolución en el pensamiento físico del presente siglo: la teoría cuántica. Esta es una teoría de fenómenos atómicos basada en una mecánica de un tipo esencialmente diferente de la newtoniana. La diferencia puede expresarse de forma concisa, pero algo abstracta, diciendo que las variables dinámicas en la mecánica cuántica están sujetas a un álgebra en la que no se verifica el axioma conmutativo de la multiplicación. Aparte de esto, existe una analogía extremadamente estrecha entre la mecánica cuántica y la vieja mecánica. De hecho, es sorprendente lo adaptable que es la vieja mecánica a la generalización del álgebra no conmutativa. Todos los rasgos elegantes de la vieja mecánica se trasladan a la nueva, donde reaparecen con mayor belleza.

La mecánica cuántica requiere la introducción en la teoría física de un vasto nuevo dominio de matemática pura (todo el dominio relacionado con la multiplicación no conmutativa). Junto a la introducción de nuevas geometrías en la teoría de la relatividad, esto indica un rasgo que podemos esperar que continúe. Es de suponer que en el futuro tendremos que incorporar otros dominios amplios de la matemática pura para tratar con los avances de la física matemática.

La matemática pura y la física están relacionadas cada vez más estrechamente, aunque sus métodos continúan siendo diferentes. Se puede describir la situación diciendo que el matemático practica un juego en el que él mismo inventa las reglas, mientras que el físico practica un juego en el que la Naturaleza proporciona las reglas, pero que según transcurre el tiempo se hace cada vez más evidente que las reglas que el matemático encuentra interesantes son las mismas que las que ha escogido la Naturaleza. Es difícil predecir cuáles serán los resultados de todo esto. Posiblemente, las dos materias se unificarán en última instancia, teniendo entonces su aplicación física toda rama de la matemática pura, cuya importancia en la física será por otra parte proporcional al interés que tenga en la matemática. Actualmente, nos encontramos, por supuesto, muy lejos de este nivel, incluso con relación a algunas de las cuestiones más elementales.»

PAUL ADRIEN MAURICE DIRAC (Bristol, 1902- Tallahassee, Florida, 1984). Estudió ingeniería eléctrica en Bristol. Tras graduarse, y en vista de sus habilidades e intereses matemáticos y físicos, solicitó y obtuvo una beca en el St. John's College de Cambridge, donde se inició, bajo la dirección de Ralph H. Fowler, en el estudio de los fenómenos cuánticos, en los que destacó rápidamente (en 1933 obtuvo, compartido con Erwin Schrödinger, el premio Nobel de Física por sus trabajos de 1926 sobre las ecuaciones fundamentales de la mecánica cuántica). En 1932 fue elegido para ocupar la antigua cátedra Lucasiana de Newton en Cambridge, que mantuvo hasta su jubilación en 1969, aceptando poco después (1972), una cátedra de investigación en la Florida State University, de Tallahassee. Su libro *The Principles of Quantum Mechanics* (1930) es una de las formulaciones más claras y precisas de la mecánica cuántica.



La disponibilidad de armamento nuclear, puesta de manifiesto en agosto de 1945 con el lanzamiento de sendas bombas atómicas sobre las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki, ha marcado la segunda mitad de nuestro siglo. La fabricación de aquellas dos primeras bombas, consecuencia del descubrimiento, en diciembre de 1938 (Orto Hahn y Fritz Strassmann), de la fisión del uranio, fue el gran logro del denominado «Proyecto Manhattan», que el presidente Franklin D. Roosevelt autorizó en 1942. Pero como todo gran proyecto, el Manhattan tuvo su prehistoria, uno de cuyos momentos más singulares y conocidos fue la carta que Albert Einstein envió a Roosevelt el 2 de agosto de 1939, aconsejado por algunos colegas, como Edward Teller, el futuro «padre» de la bomba de hidrógeno, Eugene Wigner y, especialmente, Leo Szilard. Húngaros establecidos en Estados Unidos, que durante algún tiempo habían trabajado en Alemania, y que veían con gran temor la posibilidad de

que Hitler pudiese hacerse con bombas atómicas. Hay quienes dicen que el hecho de que Einstein escribiese esta carta constituye una imperdonable equivocación que destruye su admirable trayectoria en defensa del pacifismo y entendimiento entre las naciones, que puso de manifiesto, entre otras ocasiones, a lo largo de la primera guerra mundial. Yo no lo creo así. En primer lugar, porque quien emite semejantes acusaciones parece no comprender el miedo, el terror —y, seguramente, ¡el odio! —, que debió de nacer en el espíritu de aquellos (de la mayoría cuando menos, y sobre todo de los de origen judío) a los que el régimen nazi atemorizó, obligando, finalmente, a exiliarse. Y, en segundo lugar, deberíamos también recordar que la coherencia absoluta, esa inmaculada pureza que tanto decimos admirar, rara vez existe, y que cuando se da, no es infrecuente que tenga un punto de inhumanidad.

Albert Einstein a Franklin D. Roosevelt, 2 de agosto de 1939

«Señor:

Trabajos recientes de E. Fermi y L. Szilard, que me han sido comunicados en manuscrito, me hacen esperar que el elemento uranio pueda convertirse en una nueva e importante fuente de energía en el futuro inmediato. Ciertos aspectos de la situación que se ha producido exigen que se la vigile cuidadosamente y, si es necesario, que la Administración actúe rápidamente. Creo, por consiguiente, que es mi deber llamar su atención sobre los siguientes hechos y recomendaciones:

En el curso de los últimos cuatro meses se ha hecho probable —a través del trabajo de Joliot en Francia, al igual que el de Fermi y Szilard en América— que pueda establecerse una reacción nuclear en cadena en una gran masa de uranio, mediante la cual se generarían vastas cantidades de energía y grandes cantidades de nuevos elementos del estilo del radio. Parece ahora casi seguro que esto podría conseguirse en el futuro inmediato.

Este nuevo fenómeno conduciría también a la construcción de bombas y es concebible —aunque mucho menos seguro— que de esta manera se puedan construir bombas de un nuevo tipo extremadamente poderosas. Una sola bomba de este tipo, transportada por barco y explosionada en un puerto, podría muy bien destruir todo el puerto junto a parte del territorio que le rodease. Sin embargo, tales bombas podrían ser demasiado pesadas como para que se las pudiese transportar por aire.

Estados Unidos solamente tiene yacimientos muy pobres de uranio en cantidades moderadas. Existe algún buen yacimiento en Canadá y en la antigua Checoslovaquia, mientras que la fuente de uranio más importante se encuentra en el Congo belga.

En vista de esta situación, acaso pueda Vd. considerar aconsejable que exista algún contacto permanente entre la Administración y el grupo de físicos que trabajan en reacciones en cadena en Estados Unidos. Una forma posible de lograr esto sería que Vd. confiase esta tarea a una persona de su confianza y que acaso pudiera servir de manera no oficial. Su misión podría consistir en lo siguiente:

a) contactar con los Departamentos gubernamentales, mantenerlos informados de los desarrollos que se produzcan y presentar recomendaciones para acciones del Gobierno, prestando atención particular al problema de asegurar el suministro de uranio para Estados Unidos;

b) acelerar el trabajo experimental que en la actualidad se está desarrollando dentro de los límites de los presupuestos de los laboratorios universitarios, proporcionando fondos, en el caso de que fuesen necesarios, a través de sus contactos con personas que deseen hacer contribuciones a esta causa, y acaso también obteniendo la cooperación de laboratorios industriales que dispongan de los equipos necesarios.

Entiendo que Alemania ha detenido en la actualidad la venta del uranio de las minas checoslovacas de las que ha tomado control. El que haya adoptado esta acción tan pronto puede acaso ser entendida basándonos en que el hijo del subsecretario de Estado alemán, Von Weizsäcker, está asociado al Instituto Kaiser Guillermo de Berlín donde se están repitiendo algunos de los trabajos americanos sobre el uranio.»

55. Ciencia y género: Cecilia Payne-Gaposchkin



Cómo olvidar en una antología —de lo que sea— a la, aproximadamente, mitad de la humanidad, a las mujeres? Se me dirá que ya ha aparecido Marie Curie, pero sería ésta una pobre cosecha, y, además, su caso fue muy singular; sin duda, representativo, pero demasiado desmedido en todos los sentidos, más heroico que cotidiano, aunque, claro está, la vida y la obra de Curie surgió —como todas— de la cotidianidad. En cualquier caso, no me quedaba satisfecho sólo con ese ejemplo espléndido. Sentía que era necesario acoger en estas páginas otras muestras de excelencia científica femenina en las que quedasen patentes, de una manera diferente a como es posible con Marie Curie, la dificultad que ha representado a lo largo de la mayor parte de la historia el ser mujer científica. El caso de la astrónoma británica Cecilia Payne (Payne-Gaposchkin, de casada), que llegó a ser, en 1956, la primera mujer catedrática de la Universidad de Harvard, constituye un inmejorable

ejemplo: transparente, y por ello quizá más dramático, pero presentado con una extraordinaria dignidad y «apariencia» de normalidad, lejos de cualquier pretensión de victimismo (cuando tantos motivos habría para ello). No será la última mujer que aparezca en esta obra —todavía queda Rachel Carson—, pero sí la que nos muestre con mayor claridad los problemas que han afectado —y que, aunque en bastante menor medida, continúan afectando— a las mujeres en la práctica de la ciencia. No es casualidad que Cecilia Payne fuese astrónoma: astronomía y medicina han sido las dos disciplinas científicas en las que la presencia de las mujeres ha sido más relevante. Por qué en medicina, es tan obvio que no me detengo a explicarlo; en cuanto a la astronomía, la razón es que la mayoría hicieron su entrada por «la puerta de atrás»: ocupándose de realizar la tediosa, desagradable —y, desde luego, mal pagada— tarea de medir los parámetros necesarios en las miles de placas fotográficas o espectrográficas que se tomaban en los observatorios; una situación ésta que se repetiría más tarde en otro campo científico, el de la física de altas energías, donde durante décadas (hasta la llegada de procedimientos automáticos) también había que realizar grandes cantidades de mediciones en placas fotográficas en las que aparecían millones de trazas de partículas elementales.

<On being a woman> [«Ser una mujer»]

«Una mujer conoce la frustración de pertenecer a un grupo minoritario. Podemos no ser realmente una minoría, pero ciertamente estamos en inferioridad de condiciones. Tempranas experiencias me habían enseñado que mi hermano era valorado por encima de mí. Su educación dictaba los movimientos de la familia. Debía ir a Oxford a cualquier precio. Si yo quería ir a Cambridge, debía apañármelas por mí misma. Pronto aprendí la lección de que un hombre podía escoger una profesión, mientras que una mujer debía "aprender a mantenerse por sí sola". Presumiblemente, esto debía ser así hasta que encontrara un marido. Pero pronto vi que difícilmente yo podría aspirar a hacer eso, ya que no tenía dinero propio. Tal era el código social Victoriano en el que crecí.

En mi caso, el obstáculo real para casarme era que no me relacionaba con hombres en absoluto. Existía una ley no escrita en nuestra casa, según la cual si mi hermano traía a algunos de sus amigos, sus hermanas debían aparecer lo menos posible. Esto era parte del código social de la escuela pública de chicos de la época, otro aspecto de la discriminación entre sexos.

Una o dos veces me invitaron a un baile, ofrecido por algún amigo del colegio como una fiesta de despedida. Esto constituía una intensa agonía. No sabía bailar. Además, mi ropa me avergonzaba, ya que ésta había sido utilizada antes por la hija de un amigo rico, que nos la pasaba cuando ella ya no la quería. Todavía recuerdo el horror que sentí cuando supe que uno de mis compañeros de baile la conocía, y pensé con gran vergüenza que él reconocería probablemente el vestido que yo llevaba. Incluso cuando conversaba era un desastre. Un amigo de mi hermano, al que había intentado entretener, le dijo después: "¡Curioso, una chica que *lee a Platón por placer!*" Sencillamente, no sabía como comportarme en un baile.

Las cosas no mejoraron cuando fui a Cambridge. Se segregaba a las mujeres en las clases. Incluso se las emparejaba en el laboratorio, tratándolas (¿lo había imaginado?) como estudiantes de segunda clase. Podía haber sido diferente si yo hubiese sido alegre y atractiva, y hubiese llevado bonitos vestidos. Pero era poco atractiva, cómicamente seria y agonizantemente tímida. El *demonstrator* del laboratorio de Física Avanzada le dijo a alguien (que amablemente me lo repitió) que yo era "lenta". No se me ocurrió protestar. ¡Podía ser ignorante y torpe, pero no *lenta!* Decidí no prestar más atención a lo que pudiese decir Henry Thirkill: simplemente, no se daba cuenta. Desgraciadamente para mí, él era uno de los examinadores finales del Tripos [el examen más importante que se realizaba en la Universidad de Cambridge; del puesto que se obtuviera en él dependía una buena parte de la reputación posterior del estudiante], y creo que fue responsable de colocarme en la segunda clase. Supe por rumores que el otro examinador, William Bragg, a quien yo adoraba, había querido situarme en un puesto más alto. Henry Thirkill me había retrasado...

La actitud hacia las mujeres que oprimió mi infancia y juventud era típica de la Inglaterra de la época. Cincuenta años no han cambiado mucho la situación. Aunque mi trabajo era bien conocido cuando tenía 30 años, estoy segura de que no habría tenido la menor oportunidad de obtener un puesto en Inglaterra entre el momento que fui a Harvard y aquel en que me jubilé en 1965... Aunque había ido a la Universidad correcta, había estudiado el tema equivocado. Uno no podía llegar a ser astrónomo en Inglaterra sin haber obtenido un lugar en la primera clase en el Mathematical Tripos. Y, por supuesto, yo era una mujer. El Observatorio Real era administrado por el Almirantazgo. El temible H. H. Turner manifestó que cuando se le preguntó a un candidato para el puesto de ayudante principal en Greenwich que pruebas había tenido que superar, replicó: "Entre otras cosas, tuve que subir por una cuerda." Yo habría fracasado en esa prueba; subir por cuerdas no ha sido nunca mi punto fuerte. La restricción al sexo masculino ya no domina el Observatorio Real, pero algo asfixia todavía a la astronomía en Inglaterra.

Hacemos las cosas mejor en Estados Unidos. Incluso hace 50 años,

una mujer podía realizar investigaciones astronómicas y hacerse un nombre con sus publicaciones. Podía tener un puesto —sin un título, y mal pagada, es cierto— y codearse de igual a igual con cualquier astrónomo del mundo. En mis primeros días en Harvard, todo aquel que era alguien (y muchos más, que iban a ser alguien), se relacionaba con los demás, discutía y fraternizaba. Fueron aquellos unos días gloriosos. Llegamos a conocer a Lundmark, Milne y Unsöld, Hund, Carathéodory y P. ten Bruggencate. ¡De qué manera discutíamos, vagábamos por las calles y nos sentábamos hablando en los restaurantes hasta que el encargado apagaba, desesperado, las luces! Nos relacionábamos como iguales; nadie me trataba según mi sexo o mi juventud. Incluso, nadie pensó jamás en flirtear conmigo. Éramos científicos, éramos *scholars* (ninguna de estas palabras tiene género [sí en castellano]). En aquella atmósfera embriagadora una mujer no degeneraba en el abominable estereotipo de la *femme savante*, esa combinación de consciente erudición y afectada timidez que sugiere: "Realmente no es *femenino* saber tanto como sé yo." Qué diferente de la actitud descrita por una de mis amigas inglesas: "Con mi educación, no puedo esperar casarme nunca." Sí, aquí hacemos las cosas mejor.

Hay quienes —y yo soy uno de ellos— se rebelan al tener que tratar con un intermediario. Quieren ir al manantial. Alguien que me conoce bien dice que, para mí, la ciencia ha sido una experiencia religiosa. Probablemente tiene razón. Si mi pasión religiosa me hubiese dirigido hacia la Iglesia católica, habría querido ser sacerdote. Estoy segura de que nunca habría aceptado ser monja. Si me hubiese dirigido hacia la medicina, habría querido ser cirujano; nada me habría persuadido para contentarme siendo enfermera. Cuando miro el mundo de la ciencia, me imagino a la mayoría de las mujeres que están trabajando en este campo en la actualidad en el papel de monjas y de enfermeras. No se las permite —se supone que no son adecuadas— estar en contacto directo con el manantial, se le llame Dios o Universo. (Pero, mientras escribo, la situación está cambiando.) Aquí no tengo motivo de queja. Siempre he estado en contacto directo con el manantial. Ningún otro mortal ha tomado decisiones intelectuales por mí. Me pueden haber pagado menos, puedo haber aceptado posiciones subordinadas durante muchos años, pero mi fuente de inspiración ha sido siempre directa.

Pasé muchos años en Harvard, investigando y escribiendo en mis principales intereses, con el añadido de editar, que gradualmente tomé más y más de mi tiempo, y que de paso me enseñó mucho sobre la técnica de escribir. No tenía estatus oficial, el mío era tan pequeño como el los estudiantes que suministraban las «horas de chicas» [*«girl-hours»*] en las que Shapley contaba sus gastos de investigación. Me pagaban tan poco que me avergonzaba admitirlo a mis conocidos de Inglaterra. Ellos pensaban que estaba forrándome en una tierra de

millonarios. Pero tenía a mi disposición la colección de placas [fotográficas] de Harvard, podía utilizar los telescopios de Harvard (un dudoso favor este, en el clima de Cambridge) y tenía la biblioteca en mis manos.

Llegó entonces la época en la que Shapley organizó el Departamento de Astronomía, y comenzaron a traerse candidatos doctorales. El primero de estos estudiantes fue Frank Hogg, y (con o sin estatus) yo fui quien dirigió su investigación. Comenzaron las clases, de manera informal al principio, después más organizadamente, y por supuesto yo tuve que dar clase. El nuevo Departamento buscó un director, un catedrático. Yo podría haberlo sido; ¿quién conocía mejor las cuerdas? Pero fue "imposible"; la Universidad nunca lo permitiría. Sólo unos pocos años antes, Theodore Lyman había rechazado aceptar a una mujer como candidata al Ph.D. [doctorado], y Shapley había superado de alguna manera la dificultad. Pero esta vez no iba a ser así. No sé lo que intentó, pero me dijo que el presidente Lowell le había dicho que: "La señorita Payne no tendría un puesto en la Universidad mientras él viviese." Acaso Shapley lo intentó. Pero mi estatus sin nombre continuó sin nombre. Se trajo a Harry Plaskett de Victoria para dirigir el nuevo Departamento.

... No sentí envidia de él, aunque los estudiantes que me estaban asignados pronto transfirieron su lealtad a él. Lo siento, pero consideré que eran ellos los que perdían; a mí me dejaron más tiempo libre para investigar...

Solamente años después, cuando Oxford llamó a Harry Plaskett para que sucediera a H. H. Turner, sentí envidia de él. Por supuesto que no tenía derecho a aspirar a la cátedra Saviliana, pero sentí que yo habría sido una candidata tan cualificada como él. No por primera vez, pensé que había sido pasada por alto solamente por ser mujer.

Cuando Plaskett dejó Harvard se buscó un sucesor. Shapley me dijo en esa ocasión: "Lo que necesita este Observatorio es un espectroscopista." Repliqué indignada que *yo* era una espectroscopista, aunque estaba siendo empujada en contra de mis deseos a la fotometría. Mi protesta no sirvió para nada: había que importar *un* espectroscopista. Se ofreció el puesto a Otto Struve, quien me contó muchos años después por qué lo rechazó. Shapley le dijo que: "La señorita Payne abandonará la espectroscopia", asegurándole de esta manera mano libre. Rechazó el puesto en aquellos términos. Tenía un noble y generoso corazón; fue uno de los gigantes de su tiempo. ¡Si sólo hubiese tenido la oportunidad de trabajar con él!

Fue entonces cuando se trajo a Harvard a Donald Menzel, después de que se hiciera un nombre en el Observatorio Lick. De nuevo se me preguntó: "¿Cuánto me molestaría?" La base para el sistema "divide y gobierna" se había sentado muchos años antes. No fue hasta muchos años después, una vez que Shapley se hubo jubilado, que encontré que Men-

zel y yo podíamos formar una alianza, en lugar de existir en un estado de tregua armada. Esta fue una grave pérdida para mí, y acaso también para la ciencia...

Pasaron los años y Lowell ya no era presidente de la Universidad. Con James Conant el estatus de las mujeres en el Observatorio experimentó un cambio, la señorita Canon era tan famosa como cualquier astrónomo en el mundo, y justamente. Durante muchos años había disfrutado del ambiguo título de "conservador de fotografías astronómicas", que no tenía ningún estatus en la Universidad. Ahora, fue nombrada astrónoma, y yo recibí el mismo título. Fue un paso adelante para mí, ya que ahora tenía un puesto, aunque todavía con un salario miserable. Mis obligaciones, investigación, clases, dirección de estudiantes, eran de hecho los de un catedrático, pero al menos ahora tenía un puesto en la Universidad...

Otro lapso de años, otro presidente de la Universidad, y llegó el momento en que Shapley se retiró como director del Observatorio. Tras un angustioso período de indecisión, Donald Menzel le sucedió. A él le debo el avance que finalmente se me concedió. Las finanzas del Observatorio habían constituido un secreto celosamente guardado, y cuando supo el salario que yo había estado recibiendo, me dijo que se vio sorprendido. En seguida lo subió, y pronto lo dobló. Más aún, triunfó allí donde Shapley había fracasado (aunque nunca sabré cuan duramente lo había intentado realmente): fui nombrada *Phillips professor* [catedrática] y *chairman* [directora] del Departamento de Astronomía. Tal fue el generoso tratamiento que recibí del hombre del que había sido separada sistemáticamente durante muchos años. Él no permitió que mi sexo, o mi menos que cooperativa actitud, se interpusiese en mi camino.»

CECILIA PAYNE-GAPOSCHKIN (Wendover, Buckinghamshire, 1900- Tewsbury, Massachusetts, 1979). En 1923, tras haber completado sus estudios en el Newnham College (exclusivamente para mujeres) de Cambridge, abandonó Inglaterra para llevar a cabo investigaciones en el Observatorio de Harvard, en Cambridge, Massachusetts. Dos años más tarde, el Radcliffe College le concedía el primer título de doctor (Ph.D.) en astronomía otorgado a una mujer que trabajaba en el Observatorio de Harvard. Su tesis, publicada como una monografía bajo el título *Stellar Atmospheres*, fue ampliamente celebrada. Permaneció en Harvard, siendo nombrada *Phillips astronomer* en 1938 y catedrática de Astronomía en 1956. Se retiró en 1965, aunque continuó investigando hasta poco antes de su muerte. En 1934 contrajo matrimonio con el astrónomo ruso, Sergei Gaposchkin, a quien había ayudado a encontrar un puesto en Harvard.

56. La deriva de los continentes: Wegener



Tendemos a pensar que las únicas revoluciones científicas auténticas de nuestro siglo son aquellas que han surgido en la física (relatividad y mecánica cuántica) y la biología molecular. Sin embargo, también las ciencias de la Tierra han experimentado lo que, con justicia, podemos denominar un cambio revolucionario: el paso que va de creer que los continentes se formaron y desarrollaron en lugares fijos, a aceptar la idea de que hubo una época en la que el mundo terrestre estaba aglutinado prácticamente en un inmenso continente, Pangea, del que, a partir del Mesozoico (esto es, hace más de doscientos millones de años), y mediante un lento mecanismo (de fractura y deriva, se pensó inicialmente), terminaron surgiendo nuestros, más pequeños, familiares, continentes actuales.

Si Copérnico nos enseñó que nuestro planeta no ocupa un lugar central, privilegiado, en el Universo, y Darwin que nuestra especie es el re-

sultado de una compleja y, en modo alguno, predestinada, multidimensional historia evolutiva, el geofísico, meteorólogo y explorador alemán, Alfred Wegener (también, es cierto, se podrían citar a otros, precursores de ideas parecidas, como Antonio Snider-Pellegrini [1858], O. Fischer [1870] o F. B. Taylor [1910]), nos mostró la faceta cambiante de la geografía de nuestro habitat, la Tierra. Lejos de ofrecernos permanencia, la ciencia nos revela que la naturaleza esconde una mutabilidad intrínseca, ante la cual cualquier esperanza de inevitabilidad no es sino una vana e infundada ilusión. Lo permanente se encuentra en las leyes científicas, no en sus manifestaciones.

Desde los trabajos de Lyell, la geología había adoptado en el siglo XIX un esquema de movimientos verticales para explicar la dinámica de la corteza terrestre, en concreto para dar cuenta de la formación de cadenas montañosas y la distribución y estructura de continentes y océanos. Explicar esos mismos fenómenos en términos de desplazamientos horizontales, imaginando, por ejemplo, la existencia de un enorme continente primitivo (Pangea), del que se habrían desgajado piezas que darían lugar, con el paso del tiempo, a una geografía terrestre muy diferente, suponía un cambio radical en la manera de contemplar la evolución de la Tierra. Esto es lo que hicieron Wegener y otros precursores. La primera idea sobre tal fragmentación y la consecuente «deriva de los continentes», se le ocurrió a Wegener, según explica él mismo en el texto que sigue, al contemplar en un mapamundi la semejanza de las costas de los continentes de América, Europa y África (de acuerdo a Lauge Koch, que le acompañó en sus expediciones a Groenlandia, también le influyó la observación de cómo se rompían las placas de hielo y se separaban en el mar). En enero de 1912, propuso un primer esbozo de su teoría en la reunión de la Sociedad Geológica de Alemania celebrada en el Senckenberg-Museum de Frankfurt. Tres años después aparecía su *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*, donde explicó ampliamente sus ideas. *El origen de los continentes y océanos* es una de esas obras científicas pioneras que se adelantan a su tiempo y anuncian con anticipación el cambio de esquema conceptual con que se estructura un conjunto de ciencias, en este caso las que se ocupan de la Tierra. Durante bastantes años, las ideas que contenía encontraron escaso eco: hubo, en efecto, que esperar a la década de los cincuenta, cuando nuevas evidencias apoyaron la idea del movimiento de los continentes, evidencias que condujeron a la teoría de la tectónica de placas, según la cual, la Tierra está dividida en un conjunto de unidades rígidas (placas) que contienen los continentes y partes de los fondos oceánicos y que rotan muy lentamente entre sí. Con esta teoría el, ahora sí, viejo uniformitarismo lyelliano sufrió, sin por ello tener que ser abandonado, una modificación sustancial. Y todavía quedaban otras, más

radicales, que ya no se amoldarían tan fácilmente al continuinismo geológico: como la de las causas de extinciones masivas —la de los dinosaurios entre ellas— que ha sufrido nuestro planeta. Pero de esto me ocuparé más adelante. Ahora es el momento de dejar hablar a Wegener.

Die Entstehung der Kontinente und Ozeane (1915)
(*El origen de los continentes y océanos*); de los capítulos 1 («Preliminares históricos») y 2 («La naturaleza de la deriva continental»)

«Los antecedentes de este libro no carecen totalmente de interés. Tuve la primera intuición de la movilidad continental ya en 1910, cuando, al contemplar un mapamundi, me impresionó la coincidencia de las costas de ambos lados del Atlántico, pero por el momento no hice caso de esta idea, que me pareció inverosímil. En el otoño de 1911 conocí, a través de un trabajo de síntesis que cayó en mis manos por casualidad, los resultados paleontológicos, para mí desconocidos hasta entonces, referentes a las primitivas conexiones continentales entre Brasil y África. Esto me llevó a un examen atento, aunque por el momento fugaz, de los resultados de las investigaciones geológicas y paleontológicas referidas a esta cuestión, investigaciones que hicieron arraigar en mí el convencimiento de que eran básicamente correctas. El 6 de enero de 1912 avancé por primera vez la idea en una conferencia que impartí en la Sociedad Geológica, en Frankfurt, y cuyo título era "El desarrollo de las grandes unidades de la corteza terrestre (en continentes y océanos) desde el punto de vista geofísico"...

Los paleontólogos, así como los zoólogos y botánicos, llegan una y otra vez a la conclusión de que la mayoría de los continentes, separados hoy por anchos océanos, han debido tener en el pasado conexiones terrestres a través de las cuales se efectuó, sin impedimentos, un intercambio de la fauna y la flora terrestres. Los paleontólogos llegaron a esta conclusión al hallar numerosas especies idénticas que, según podía demostrarse, habían vivido en el pasado a ambos lados del océano, y cuya contemporaneidad hacía impensables orígenes separados en lugares diferentes...

Al mismo resultado llegan las investigaciones similares sobre los animales y plantas actuales. Las especies actuales de dos continentes... son ciertamente distintas, pero los géneros y familias siguen siendo los mismos y lo que hoy es género o familia, fue especie en el pasado. Es decir, que el parentesco de fauna y flora actuales lleva a la conclusión de que estas faunas y floras fueron idénticas en el pasado y, por tanto, que

debe haber existido un intercambio, lo cual sólo puede imaginarse contando con una conexión terrestre muy extensa. Sólo tras la rotura de la conexión continental se separaron las faunas y floras en las diversas especies actuales...

La hipótesis de que existían continentes intermedios era, de hecho, la más inmediata, en cuanto que se basaba en el cuerpo de doctrina de la contracción de la Tierra... Esta teoría se origina en Europa; fue establecida y elaborada por Dana, Albert Heim y Eduard Suess, y sigue dominando hasta el momento presente los conceptos básicos de la mayoría de los textos europeos de geología...

Al igual que una manzana que se seca desarrolla arrugas en su superficie a causa de la pérdida de agua de su interior, así las cadenas montañosas plegadas en la superficie terrestre deben formarse a causa del enfriamiento del interior de la Tierra, y de la retracción consiguiente. A consecuencia de este hundimiento de la corteza, se supone que debe actuar sobre ella una presión en bóveda general que mantiene elevados fragmentos individuales que forman horsts, en cierto modo apoyados en la bóveda. Más adelante, estos fragmentos retrasados pueden adelantarse a los otros en el hundimiento, y entonces lo que era tierra firme se convierte en fondo marino, y a la inversa, pudiéndose repetir este ciclo indefinidamente. Esta teoría, que fue propuesta por Lyell, se basa en el hecho de que en casi todos los continentes se encuentran estratos depositados en mares antiguos. No se puede negar a esta idea el mérito histórico de haber proporcionado durante largo tiempo una síntesis adecuada de nuestra ciencia geológica. En este largo período de tiempo la teoría de la contracción ha sido aplicada en gran medida a los resultados de investigaciones concretas, con la consecuencia de que aún hoy sigue teniendo algo de atrayente, a causa de la atrevida simplicidad de sus ideas básicas y de la diversidad de sus aplicaciones.

Después de la imponente síntesis que para las ciencias geológicas supuso, desde el punto de vista de la teoría de la contracción, la obra en cuatro tomos de Eduard Suess *La faz de la Tierra*, se han venido acumulando las dudas sobre la corrección básica de esta teoría...

... Incluso la suposición básica, aparentemente innegable, de la teoría de la contracción (a saber, que la Tierra se está enfriando) ha quedado en entredicho tras el descubrimiento del radio. Este elemento, cuya desintegración genera calor continuamente, está contenido en grandes cantidades mensurables en las rocas de la corteza que nos son accesibles, y las numerosas medidas llevadas a cabo conducen a la conclusión de que si el interior de la Tierra contuviese igual cantidad de radio, el calor producido debería ser incomparablemente mayor que el transportado hacia el exterior, magnitud ésta que podemos calcular por el aumento de temperatura en las minas, teniendo en cuenta la conductividad de las rocas. Pero esto significaría que la temperatura de la Tierra tenía que elevarse continuamente. En realidad, la muy escasa radiaci-

vidad de los meteoritos férricos indica que el núcleo de hierro de la Tierra tiene, presumiblemente, mucha menor cantidad de radio que la corteza, pero en cualquier caso, ya no se puede considerar actualmente el estado térmico de la Tierra como una instantánea tomada en un proceso continuo de enfriamiento del globo terrestre, sino más bien como un estado de equilibrio entre la producción de calor radiactivo del interior terrestre, y su emisión al exterior...

Pero ¿cuál es la verdad? La Tierra no puede tener más de un rostro a la vez. ¿Hubo puentes continentales, o bien estuvieron siempre los continentes separados por mares profundos? Es imposible rechazar la reivindicación sobre las antiguas conexiones terrestres si no queremos renunciar por completo a comprender el desarrollo de la vida en la Tierra. Pero es igualmente imposible rehuir los argumentos con los que los partidarios de la teoría de la permanencia rechazan los intercontinentes hundidos. Evidentemente, queda tan sólo una posibilidad: tiene que existir un error oculto en las suposiciones tomadas como evidentes.

Este es el punto de partida de la teoría movilista o teoría de la deriva. La suposición, tomada como evidente tanto en la teoría de los puentes continentales como en la de la permanencia, de que la situación relativa de los bloques continentales no ha cambiado... debe ser falsa: los continentes deben haberse movido. Suramérica debe haber estado junto a África y formado con ella un único continente, escindido en el Cretácico en dos partes que luego, como los fragmentos de un témpano agrietado, se separaron cada vez más en el curso del tiempo geológico, pero los bordes de estos dos bloques concuerdan todavía hoy. No sólo el gran codo en ángulo recto que forma la costa brasileña en el cabo San Roque encuentra su negativo en el recodo de la costa africana en Camerún, si no también al sur de estos accidentes la forma de la costa es tal que a cada saliente en la costa brasileña corresponde una bahía de igual forma en la africana, y viceversa: a cada bahía en el lado brasileño un saliente en el africano. Como puede comprobarse con el compás sobre un globo terrestre, las distancias concuerdan con precisión.

Igualmente, Norteamérica ha estado situada en el pasado junto a Europa, y formó un bloque único con ella y Groenlandia, al menos desde Terranova e Irlanda hacia el norte. Este bloque se fragmentó a partir del Terciario superior (y en el norte incluso en el Cuaternario) por medio de una fractura que se bifurcaba en Groenlandia, tras lo cual los fragmentos se separaron unos de otros. Antártida, Australia e India estaban situadas junto a Suráfrica hasta el comienzo del Jurásico, formando con ella y con Suramérica un gran continente único (parcialmente cubierto por mares someros), que en el transcurso del Jurásico, el Cretácico y el Terciario se fragmentó en bloques aislados, que luego derivaron en todas direcciones... En el caso de India, se trata de un fenómeno algo distinto: inicialmente, un largo bloque cubierto casi totalmente de ma-

res someros la unía por completo al continente asiático. Tras la separación de Australia por una parte (en el Jurásico inferior) y por otra de Madagascar (en el límite entre Cretácico y Terciario), este largo bloque fue plegado cada vez más por la aproximación de India a Asia, y constituye hoy una de las más poderosas cadenas de montañas de la Tierra: el Himalaya y las cadenas vecinas...

Si tomamos la teoría de la deriva como base, podemos satisfacer todos los requisitos legítimos, tanto de la teoría de los puentes continentales como de la teoría de la permanencia. En concreto, esto quiere decir que hubo conexiones entre los continentes actualmente separados, pero no intercontinentes que luego se hundieron, y que hay permanencia, pero no de cada océano o continente individual, sino del área de los continentes y del área de las cuencas marinas en su conjunto.»

ALFRED WEGENER (Berlín, 1880- Groenlandia, 1930). Estudió en Heidelberg, Innsbruck y Berlín, donde se doctoró en astronomía (1905). Más tarde enseñó en Marburgo, especializándose allí en meteorología. Finalmente, en 1924, otuvo una cátedra de Meteorología y Geofísica en la Universidad de Graz (Austria). A partir de 1910, no pudiendo reconciliar las evidencias paleoclimáticas existentes con la posición de los continentes, tal y como las percibimos en la actualidad, comenzó a desarrollar la teoría de la deriva continental, que culminó en 1912 y que popularizó en su *El origen de los continentes U océanos* (1915). Intrépido explorador, Wegener falleció mientras cruzaba el casquete ártico de Groenlandia, en la que era su cuarta expedición polar.

57. La idea del gen: Morgan



A mediados del siglo XIX Gregor Mendel desarrolló la teoría según la cual elementos hereditarios discretos, más tarde denominados «genes», son los responsables de los rasgos hereditarios.

Las ideas de Mendel pasaron inadvertidas por la comunidad de biólogos (acaso se trataba de un descubrimiento prematuro, en el sentido de que sus contemporáneos no podían relacionar el concepto de elementos hereditarios discretos con lo que sabían de biología celular; por otra parte, la metodología estadística mediante la cual Mendel interpretó sus resultados era ajena al modo de pensamiento entonces vigente). Su artículo de 1865 fue redescubierto únicamente en 1900, cuando ya se conocían los cromosomas, la mitosis y la meiosis, con lo cual la teoría de Mendel podía ser descrita en términos de estructuras visibles con un microscopio. Además, por entonces la aplicación de la estadística a la biología ya era algo habitual.

Con el redescubrimiento del trabajo de Mendel, la genética pasó a ser uno de los campos más importantes de la investigación biológica. Gracias sobre todo a los trabajos de Thomas Hunt Morgan y sus colaboradores, quedó claro que los genes se encuentran ordenados linealmente en los cromosomas y que experimentan cambios repentinos permanentes, o mutaciones, que producen una variación en un rasgo concreto, determinado por el gen, tal como el cambio del color rojo al blanco de un ojo de una mosca.

El desarrollo de la genética abrió el camino a grandes avances en la comprensión de la vida. En el plano teórico, la genética suministró una base firme para entender la evolución. Al ser la fuente principal de novedad biológica, la mutación de genes pasó a considerarse el motor que dirigía la evolución: desde esta nueva perspectiva lo que selecciona el mecanismo darwiniano de la selección natural son organismos que transportan nuevos genes, o nuevas combinaciones de viejos genes, que confieren mayores ventajas en la lucha para ser más prolíficos.

Veamos cómo formulaba Morgan la teoría de los genes en uno de sus libros.

The Theory of the Gene (1928) (La teoría del gen)

«Tenemos ahora posibilidad de formular la teoría de los genes. Esta teoría afirma:

—Que los caracteres del individuo son referibles a partes de elementos —genes— en la materia germinal, mantenidos juntos en un número de grupos enlazados.

—Que los miembros de cada par —alelos, genes homólogos— se separan en el proceso de maduración de las células germinales —reducción cromosómica, meiosis— de acuerdo con la primera ley de Mendel y, en consecuencia, la célula germinal madura contendrá una sola serie de genes, la mitad de cada par; la mitad de los que se hallaban en la célula antes de la maduración.

—Que los elementos que corresponden a diferentes grupos enlazados se reparten independientemente, tal como establece la segunda ley de Mendel.

—Que un intercambio ordenado —cruce— tiene lugar frecuentemente entre elementos de grupos enlazados, alelos.

—Y que la frecuencia de estos cruces nos da idea del orden lineal, de la colocación de los elementos en cada grupo enlazado; de la posición relativa, por lo tanto, de cada elemento con respecto a los demás.

Estos principios, que constituyen en conjunto lo que me he atrevido

do a llamar "teoría de los genes", hacen posible el análisis de los problemas de genética sobre bases estrictamente numéricas y permiten predecir, con mucha precisión, lo que ocurrirá en una situación determinada. Cumple así la teoría con los requisitos exigidos a toda teoría científica por el criterio más riguroso.

Dedúcese de lo que hemos dicho hasta ahora una explicación plausible de las diferencias que se observan cuando un carácter cambiante depende de modificaciones de un cromosoma por entero —o también de la parte de un cromosoma— o bien cuando depende de un gen. En el primer caso, se trata de cambios no muy pronunciados, pero que afectan a un gran número de caracteres. En el otro, pueden observarse asimismo variaciones bastante extensas, de ordinario insignificantes, mientras que algunos de los caracteres se hallan profundamente modificados. Existe la idea errónea —popular— de que cada carácter cambiante resulta del cambio de un solo gen, porque cada carácter tendría un particular representante en el material genético. La embriología nos enseña, por el contrario, que cada órgano en el cuerpo constituye un resultado final, culminación de una larga serie de procesos. Es natural que una modificación que se produzca en una de las etapas del proceso pueda manifestarse en el producto final. Vemos el efecto, pero ignoramos el momento en que la alteración tuvo lugar...

Cuestión de interés es la naturaleza de los genes. ¿Cómo puede ser que, tratándose de moléculas orgánicas, se conserven invariables, con plena estabilidad? Tal estabilidad significa que el gen es individualizado como una molécula viva, la cual se mantiene prácticamente invariable a pesar de su metabolismo, o que tiende a evolucionar según un modo definido...

Hace unos años me propuse calcular el tamaño de los genes con la esperanza de que se consiguieran resultados útiles para hacer luz en estos problemas. No contamos, empero, con medidas suficientemente exactas para que podamos escapar a razonamientos nada más que especulativos. Parece, sin embargo, que el volumen del gen es del orden de las mayores moléculas orgánicas. Podría tratarse, en efecto, de una gran molécula, pero es más verosímil pensar que el gen sea una estructura, un conjunto de moléculas orgánicas, relacionadas, por vínculos químicos, por la pura afinidad —como en una combinación química—, o tal vez por otras fuerzas organizadoras.»

THOMAS HUNT MORGAN (Lexington, Kentucky, 1866- Pasadena, 1945). Genetista y embriólogo famoso por sus experimentos con la mosca de la fruta, *Drosophila melanogaster*, y por establecer la teoría cromosómica de la herencia. Se doctoró en 1890 en la Universidad Johns Hopkins. En 1904 accedió a su primera cátedra (de Zoología Experimental) en la Universidad de Columbia, Nueva York. En 1928 fue nombrado director del laboratorio de Ciencias Biológicas del California Institute of Technology, en Pasadena, puesto que mantuvo hasta su muerte. En 1933 recibió el premio Nobel de Fisiología y Medicina «por sus descubrimientos relativos al papel que desempeña el cromosoma en la herencia».

58. ¿Qué es la vida?: Schrödinger



A lo largo de la primera mitad del siglo XX, mientras la genética se convertía en la reina de las ciencias biológicas, la naturaleza física del concepto central, el gen, continuó envuelto en misterio. Todavía en 1950, en un artículo titulado «The development of the gene theory» («El desarrollo de la teoría del gen»), Hermann Joseph Muller, en el pasado colaborador de Morgan, y entonces uno de los más respetados genetistas y defensor de la teoría de los genes, declaraba que nadie sabía de qué estaban hechos los genes, cómo eran capaces de imponer su carácter sobre los organismos que los transportan, o cómo se reproducían fielmente en la división celular.

Sin embargo, en 1944, esto es, seis años antes de que Muller realizase tales afirmaciones, Oswald Avery, Colin MacLeod y Maclyn McCarty, habrían descubierto que los genes se encuentran sumergidos en ácido desoxirribonucleico (ADN). ¿Por qué Muller no hizo referencia a este

hecho? La razón seguramente se debe a que, como en el caso de Mendel, el descubrimiento de Avery y sus colegas fue probablemente prematuro. Las ideas entonces en vigor acerca de la naturaleza molecular del ADN hacían que fuese prácticamente inconcebible que el ADN pudiese ser el vehículo de la información hereditaria. Lo que desde luego no fue similar al caso de Mendel es que el artículo de Avery, MacLeod y McCarty tuviese que ser redescubierto, ya que su publicación constituyó toda una sensación, y sin duda Muller lo conocía muy bien cuando escribió el artículo antes citado.

Son muchos, por supuesto, los elementos que contribuyeron a cambiar la situación. Yo he seleccionado uno que tiene que ver con un físico, Erwin Schrödinger, como ya se ha mencionado uno de los creadores de la mecánica cuántica, que escribió un libro, *¿Qué es la vida?*, publicado en 1944 y fruto de una serie de conferencias en el Instituto de Estudios Avanzados de Dublín. No se trataba de una obra completamente original —sus ideas más fructíferas ya habían sido adelantadas por otros, como Max Delbrück—, pero sí enormemente sugerente. Francis Crick, con quien nos volveremos a encontrar en seguida, como uno de los descubridores de la estructura de la molécula del ADN, señaló: «Si uno lee el libro [de Schrödinger] algo críticamente, su principal contenido es muy peculiar por una razón, ¡es un libro escrito por un físico que no sabe nada de química! Pero el impacto —no hay duda de que Schrödinger lo escribió con un estilo muy atractivo...— sugería que se podía pensar acerca de los problemas biológicos en términos físicos.»

En concreto, las principales preguntas que se hizo Schrödinger en *¿Qué es la vida?* se podrían resumir de la siguiente manera: ¿Cuál es la estructura física de las moléculas que se duplican cuando se dividen los cromosomas? ¿Cómo se debe entender el proceso de la duplicación? ¿Cómo retienen, de generación en generación, estas moléculas su individualidad (problema de la herencia)? ¿Cómo logran controlar el metabolismo de las células? ¿Cómo crean la organización que se ve en la estructura y en las funciones de los organismos superiores?

Veamos un ejemplo del contenido del libro de Schrödinger, en el que se puede apreciar la influencia que ejercían sus conocimientos cuánticos.

What is Life? (1944) (¿Qué es la vida?)

«El holandés Hugo de Vries descubrió hace unos cuarenta años que incluso en la descendencia de cepas realmente puras un número muy

pequeño de individuos, algo así como dos o tres entre varias decenas de miles, aparece con cambios pequeños, pero que suponen una especie de "salto". La expresión "salto" no quiere significar que el cambio sea especialmente importante, sino que supone una discontinuidad, en el sentido de que no hay formas intermedias entre la forma inalterada y los pocos individuos que han cambiado. Tras su observación, De Vries les dio el nombre de mutaciones. El hecho significativo es la discontinuidad. Al físico le recuerda la teoría cuántica, según la cual no hay energías intermedias entre dos niveles energéticos contiguos. Podríamos llamar a la teoría de la mutación, de forma figurada, la teoría cuántica de la Biología. Más adelante, veremos que tal denominación es mucho más que figurativa. Las mutaciones se deben, de hecho, a saltos cuánticos en las moléculas del gen. Pero la teoría cuántica sólo tenía dos años cuando De Vries publicó su teoría de la mutación, en el año 1902. No es, pues, extraño que se necesitase una generación más para descubrir la íntima relación entre ambas.»

ERWIN SCHRÖDINGER (Viena, 1887- Viena, 1961). Estudió en su ciudad natal, doctorándose en 1910. Recibió su primera cátedra (Zúrich) en 1921, donde realizó su contribución más importante a la física: el descubrimiento de la forma de mecánica cuántica denominada mecánica ondulatoria (1926). Este logro le llevó (1927) a suceder a Max Planck en su cátedra de Berlín. Con la llegada al poder de Hitler, Schrödinger se trasladó a Oxford, regresando a Austria en 1936, para ocupar una cátedra en Graz. Cuando, en 1938, Alemania se anexionó Austria, Schrödinger volvió a emigrar, esta vez a Irlanda, al entonces recientemente creado Instituto de Estudios Avanzados de Dublín. En 1956, regresó a Viena como catedrático de su universidad.

59. Creación y cosmología: Hoy le



Que el Universo —nuestro Universo, nuestro cósmico hogar— se expande parece un hecho incontrovertible, desde que Edwin Hubble acumuló, a finales de la década de los años veinte, evidencias suficientes. Y ello implica, parece implicar, que hace alrededor de quince mil millones de años se produjo una gran explosión —el big bang— que originó el mundo.

Semejante implicación, procedente, además, del respetable dominio de la investigación científica, ha sido, ni que decir tiene, muy bien acogida en ciertos círculos. Religiosos, en particular. «He ahí, la evidencia definitiva de la mano de Dios, creando el mundo.» Yo no voy a insistir ahora —lo he hecho en otro lugar (mi *Diccionario de la ciencia*)— en lo absurdo que es recurrir a una causa inexplicada para explicar algo para lo que no tenemos explicación satisfactoria. Simplemente, quiero mostrar cómo una insatisfacción parecida ha conducido a algún científico a intentar

prescindir de la existencia de ese gran estallido, introduciendo otros elementos, esto es, una teoría diferente a aquella que conduce al big bang. Me estoy refiriendo a la cosmología del estado estable, que fue propuesta en 1948 por Fred Hoy le, por un lado, y Thomas Gold y Hermann Bondi, por otro (los tres habían discutido sus ideas con anterioridad a la publicación de sus respectivos artículos). Esta cosmología ejerció gran influencia durante la década de los años cincuenta, siendo finalmente socavada por el descubrimiento del fondo de radiación de microondas. Pero lo que a mí me interesa es mostrar cómo «elementos extracientíficos» pueden influir en alguna ocasión —y legítimamente, por supuesto— en la dirección de las investigaciones científicas.

La cita que sigue incluye los primeros párrafos del artículo de Fred Hoyle, un fecundo, extremadamente competente y original físico y astrofísico británico, también conocido por haber escrito algunos buenos libros de ciencia-ficción. Es evidente a quiénes van dirigidas las salvas (de profundidad) que lanza («va en contra del espíritu científico considerar que efectos observables surgen de "causas desconocidas para la ciencia", y es esto en principio lo que implica la creación en el pasado»).

«A new model for the expanding universe» (1948)
[«Un nuevo modelo para el universo en
expansión»]

«La creación de la materia fue mencionada hace alrededor de veinte años por Jeans, que señaló: "El tipo de conjetura que se presenta a sí misma, de forma algo insistente, es que los centros de las nebulosas (galaxias) tienen la naturaleza de puntos singulares, a través de los cuales se inserta materia en nuestro universo desde alguna otra y completamente extraña dimensión espacial, de forma que, para un habitante de nuestro universo, aparecen como puntos en los que se crea materia continuamente." Sin embargo, desarrollos astrofísicos subsiguientes han apoyado poco esta particular forma de creación.

Más recientemente, Dirac ha señalado que se puede relacionar la creación continua de materia con cuestiones cosmológicas más amplias. El siguiente trabajo está relacionado con este aspecto de la materia, y surgió de una discusión con el señor T. Gold, que señaló que a través de la creación continua de materia podría ser posible obtener un universo en expansión en el que la densidad propia de materia perma-

neciese constante. Esta posibilidad parecía atractiva, especialmente cuando se toma en conjunción con objeciones estéticas a la creación del Universo en un pasado remoto, ya que va en contra del espíritu científico considerar que efectos observables surgen de "causas desconocidas para la ciencia", y es esto en principio lo que implica la creación en el pasado.»

60-61. La doble hélice: Watson y Crick



El universo de los seres vivos es el resultado de prácticamente infinitas interacciones entre todo tipo de compuestos; como células y moléculas, que no son, en última instancia, sino reacciones químicas entre elementos. Para poner orden en este aparente caos, es necesario aislar piezas de esa realidad. Pues bien, ninguna «pieza» ha sido hasta el momento tan fructífera como el ácido desoxirribonucleico (ADN), la macromolécula que contiene, en forma químicamente codificada, toda la información necesaria para construir, controlar y mantener un organismo vivo.

Ya tuve ocasión de mencionar que en 1944 Avery, MacLeod y McCarty descubrieron que los genes se encuentran sumergidos en ADN, lo que sugería éste que desempeñaba un papel importante en los mecanismos de la herencia. Ahora bien, qué estructura tenía el ADN y cómo estaba relacionado de hecho con los procesos hereditarios, era algo que se desconocía por completo.

FRED HOYLE (Bingley, Yorkshire, 1915). Estudió en Cambridge. *Fellow* de St. John's College en 1939, fue nombrado *lecturer* de matemáticas de su universidad en 1945. En 1956 dejó Inglaterra por el Observatorio Hale (Estados Unidos). Regresó a su patria en 1966 para dirigir el Instituto de Astronomía Teórica de Cambridge. Sus contribuciones se extienden por prácticamente toda la astrofísica, siendo especialmente importantes las que llevó a cabo en el campo de la nucleosíntesis estelar.

Estos problemas fueron resueltos en 1953, en el laboratorio Cavendish de Cambridge, por James Watson y Francis Crick. Su descubrimiento (publicado en un breve artículo en la revista *Nature*: «Estructura molecular de los ácidos nucleicos») constituye la auténtica piedra angular de la biología contemporánea, cuyas implicaciones están abriendo desde hace tiempo todo tipo de posibilidades en la comprensión de los organismos y en el tratamiento de enfermedades, al igual que, indirectamente, de comportamientos y acuerdos sociales.

Para facilitar la comprensión de los textos que reproduzco más adelante, y también por la importancia que tienen estos conocimientos, es recomendable decir antes unas palabras acerca de la estructura de esta molécula, tan importante para nuestra vida.

El ADN está constituido por dos cadenas (que forman una doble hélice), cada una de las cuales está formada por cuatro compuestos químicos, combinaciones de carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno y fósforo, denominados adenina (A), guanina (G), citosina (C) y timina (T). Los cuatro tienen un comportamiento de álcalis o «bases» (lo contrario de ácidos). La estructura de la cadena es muy sencilla: lo que se puede considerar como su «esqueleto» está formado por una alternancia regular de ácido fosfórico (P) y un azúcar, la desoxirribosa (D); esto es:

P-D-P-D-P-D-P-D-...

Sobre este esqueleto, se superponen las cuatro bases antes mencionadas, pero de forma que a cada azúcar D va unida una base, A, C, G o T, formando una secuencia determinada (al conjunto de P, D y una base se le llama «nucleótido»); el ácido fosfórico es algo así como un eslabón de esta singular cadena, que tiene forma espiral.

El ADN surge cuando se unen dos cadenas de este tipo, mediante el procedimiento de establecer uniones entre parejas de bases, pero sólo de manera que la T de una cadena se asocie a la A de la otra, o la G a la C. Cualquier otro emparejamiento está prohibido. Con semejante estructura se puede comprender fácilmente el proceso de duplicación del ADN en cada célula: en un momento dado de la vida de ésta, la doble hélice se escinde en dos segmentos helicoidales, que al captar en el medio en el que se encuentran el azúcar, el fosfato y la base reconstruyen sus complementos, de manera, además, perfectamente fiel, de generación en generación (salvo mutaciones), debido a la ley del emparejamiento de las bases.

Con la excepción de las bacterias, el ADN aparece en forma de filamentos muy largos en los cromosomas. Si pudiésemos extender el ADN de una célula humana, formaríamos un hilo de unos tres metros de longitud. El «genoma» (conjunto de instrucciones —o de genes— que permi-

ten construir un organismo) humano se encuentra en esos hilos, y consta de unos 3.000 millones de pares de bases (un gen es, por cierto, una secuencia de pares de bases a lo largo de un trozo de ADN, que tiene una función específica conocida). Uno de los grandes proyectos científicos de la actualidad es precisamente determinar la composición del genoma humano.

En cuanto a los textos que he seleccionado, son dos, uno de Watson y otro de Crick. El primero forma parte de un célebre libro en el que Watson narró, de manera desenfadada y franca (desde su propia perspectiva, por supuesto), la historia del descubrimiento. Al contrario que en las reconstrucciones que suelen hacer la gran mayoría de los científicos de sus aportaciones importantes, en las que casi todo parece de color de rosa, procesos en los que domina el altruismo y el amor a la ciencia —entendida ésta como empresa internacional—, en el libro de Watson los científicos son seres de carne y hueso, con sus miserias y grandezas, con sus ambiciones, simpatías y fobias. Algo de eso se observa en el fragmento elegido, aunque si lo he seleccionado es porque en él se narra uno de los momentos cruciales del descubrimiento, que no fue cuando Watson y Crick comenzaron a pensar en términos de estructuras helicoidales, algo que fue importante, desde luego, pero que también manejaban otros (notablemente Linus Pauling), sino cuando relacionaron de una manera muy particular adenina, guanina, citosina y timina.

Por el contrario, el segundo texto constituye una breve síntesis, en la que Crick intenta, con el bálsamo y la perspectiva que da la lejanía temporal, dar a los diferentes participantes en el proceso que llevó al descubrimiento el mérito que merecen, y que no siempre recibieron en la obra de Watson. Son dos maneras diferentes de contar la misma historia, diferencia que nos muestra una vez más la pluralidad de personalidades, circunstancias y enfoques que existen en el mundo de la ciencia.

The Double Helix (1968) (*La doble hélice*), J. Watson

«Durante los días siguientes, vi que Francis [Crick] se iba volviendo más y más huraño por el hecho de que yo no dedicaba toda mi atención a los modelos moleculares. No importaba que, por regla general, antes de las diez, cuando él llegaba, yo estuviera ya en el laboratorio. Casi todas las tardes, sabiendo que me iba a jugar al tenis, apartaba con mal humor la cabeza de su trabajo para ver desatendida la cadena polinucleótida. Además, después del té yo iba a tomar una copa de jerez con

las chicas de la casa de Pop. Los gruñidos de Francis, sin embargo, no me producían ningún efecto. Dedicar más tiempo a nuestra última cadena sin haber obtenido antes una solución para las bases no representaba un auténtico paso hacia delante.

Seguí pasando la mayoría de las tardes en el cine, con la esperanza de que la solución se me presentaría de un momento a otro. Cierta tarde, decidí ir a ver *Éxtasis*, una película de los años treinta famosa por las escenas en las que la protagonista, Hedy Lamarr, aparecía desnuda. Así que aquella noche Peter y yo recogimos a Elizabeth y nos fuimos al cine Rex. Sin embargo, la única escena de desnudo que la censura inglesa había permitido era un reflejo de la protagonista en una piscina. Antes de que terminara la película, nos sumamos al violento abucheo de los disgustados estudiantes, mientras los protagonistas del film pronunciaban palabras de incontrolada pasión.

Incluso durante la proyección de una buena película me resultaba imposible olvidar las bases. El hecho de que, al fin, hubiéramos producido una configuración estereoquímicamente razonable de la cadena latía siempre en el fondo de mis pensamientos. Además, ya no existía el temor de que fuera incompatible con los datos experimentales, pues la habíamos contrastado ya con las exactas mediciones de Rosy [Rosalind Franklin]. Desde luego, Rosy no nos dio directamente sus datos. A decir verdad, nadie en el King's [College de Londres] sabía lo que nos traíamos entre manos. Llegaron a nuestro poder gracias a que Max [Perutz] formaba parte de un comité nombrado por el Medical Research Council para coordinar la investigación biofísica dentro de sus laboratorios. Como [John] Randall deseaba convencer al comité de que había formado un eficaz grupo de investigación, había dado instrucciones a su personal en el sentido de que redactaran un amplio resumen de sus trabajos. A su debido tiempo, este resumen fue multicopiado y enviado a todos los miembros del comité. El informe no era confidencial, así que Max no vio razón alguna para no dárselo a Francis y a mí. Al repasar el contenido, Francis advirtió con alivio que yo le había informado correctamente de las características esenciales de la forma B. Así pues, sólo eran precisas pequeñas modificaciones en nuestra configuración de la cadena.

Por lo general, intentaba resolver el misterio de las bases cuando, a hora avanzada, regresaba a mi habitación. Sus fórmulas estaban descritas en el librito de J. N. Davidson *The Biochemistry of Nucleic Acid*, del cual tenía yo un ejemplar en el Clare [College]. Por lo tanto, podía estar seguro de que conocía las estructuras correctas. Empecé a dibujar pequeños diagramas de las bases en hojas de papel de carta del Cavendish. Mi propósito era disponer las bases en el centro, de forma tal que las cadenas del exterior fuesen completamente regulares, esto es, dando a los grupos azúcar-fosfato de cada nucleótido idénticas configuraciones tridimensionales. Pero cada vez que intentaba llegar a una solu-

ción tropezaba con el obstáculo de que las cuatro bases tenían una forma completamente diferente. Había, además, muchas razones para creer que las secuencias de bases de una cadena polinucleótida dada eran muy irregulares. Así, a menos que existiera algún procedimiento muy especial, retorcer al azar dos cadenas polinucleótidas una alrededor de la otra no llevaría a ningún resultado. En algunos espacios, las bases mayores debían tocarse una a otra, mientras que en las regiones donde las bases más pequeñas se hallaban una frente a otra debía existir un hueco o, en todo caso, las cadenas debían combarse hacia dentro.

Existía también el mortificante problema de cómo las cadenas entrelazadas podrían mantenerse unidas por puentes de hidrógeno entre bases. Aunque durante más de un año Francis y yo habíamos excluido la posibilidad de que las bases formaran enlaces regulares de hidrógeno, ahora resultaba evidente que nuestras deducciones no eran correctas. La observación de que uno o más átomos de hidrógeno de cada una de las bases podía moverse de un espacio a otro (un desplazamiento tautómero) nos habían llevado inicialmente a la conclusión de que las formas tautómeras de una base dada se presentaban en frecuencias iguales. Pero una reciente lectura de los estudios de J. M. Gulland y D. O. Jordán sobre los análisis volumétricos de ácidos y bases del ADN me hizo apreciar finalmente la fuerza de su conclusión de que gran parte de las bases, si no todas ellas, formaban enlaces de hidrógeno con otras bases. Más importante aún, estos enlaces de hidrógeno estaban presentes en concentraciones muy bajas de ADN, lo que indicaba que los enlaces unían bases en la misma molécula. Estaba, además, el resultado cristalográfico con rayos X de que cada base pura examinada hasta entonces formaba tantos enlaces irregulares de hidrógeno como era estereoquímicamente posible. Así pues, era concebible que el *quid* del asunto radicara en una regla que gobernase los enlaces de hidrógeno entre las bases.

Al principio, mi esbozo de las bases sobre el papel no dio ningún resultado. Ni siquiera la necesidad de apartar *Éxtasis* de mi mente condujo a una solución de los enlaces de hidrógeno. Al poco rato, me quedé dormido, confiando en que una fiesta que había de celebrarse la tarde siguiente en Downing estuviera llena de chicas guapas. Pero mis esperanzas se vieron defraudadas tan pronto como llegué al lugar y me encontré con un grupo de saludables jugadores de hockey y varias pálidas debutantes. Bertrand [Fourcade] se dio cuenta al instante de que él también estaba fuera de lugar allí y, mientras dejábamos pasar un cortés intervalo antes de largarnos, le expliqué cómo le estaba disputando al padre de Peter [se refiere a Linus Pauling] la carrera por el premio Nobel.

Sin embargo, hasta mediados de la semana siguiente no surgió una idea importante. Se me ocurrió mientras estaba dibujando los anillos de adenina en un papel. Comprendí de pronto las profundas implicaciones

que podían derivarse de una estructura del ADN en la que el radical adenina formara enlaces de hidrógeno similares a los hallados en los cristales de adenina pura. Si el ADN era así, cada radical formaría dos enlaces de hidrógeno con otro radical adenina relacionado con él mediante una rotación de 18 grados. Y, lo que era aún más importante, dos enlaces simétricos de hidrógeno podían mantener también juntos pares de guanina, citosina o timina. Empecé, pues, a considerar la posibilidad de que cada molécula de ADN se compusiera de dos cadenas con idénticas secuencias de bases, unidas por enlaces de hidrógeno entre pares de bases idénticas. No obstante, existía la complicación de que una estructura así no podría tener una cadena regular, ya que las purinas (adenina y guanina) y las pirimidinas (timina y citosina) tienen formas diferentes. La cadena resultante debería disponer, pues, de pequeñas ondulaciones hacia dentro y hacia fuera según estuviesen en el centro los pares de purinas o de pirimidinas.

A pesar de la poca elegancia de la ondulación en las cadenas, se me empezó a acelerar el pulso. Si el ADN era así, sería una auténtica bomba anunciar su descubrimiento. La existencia de dos cadenas entrelazadas con idénticas secuencias de bases no podía ser fruto de la casualidad. Por el contrario, indicaría que una cadena de cada molécula habría servido de plantilla en alguna fase anterior para la síntesis de la otra cadena. Según este esquema, la multiplicación de los genes comenzaría con la separación de dos cadenas idénticas. Seguidamente se formarían dos nuevas cadenas hijas sobre dos plantillas parentales, dando lugar a dos moléculas de ADN idénticas a la molécula original. Así, el truco esencial de la multiplicación de los genes podría provenir de la exigencia de que cada base de la cadena recién sintetizada tuviera siempre un puente de hidrógeno con una base idéntica. Sin embargo, no podía comprender por qué no había de ser posible que la forma tautómera común de la guanina no tuviera un enlace de hidrógeno con la adenina. Mi modelo tenía también varios otros problemas de emparejamiento. Pero, puesto que no había razón para excluir la participación de enzimas específicas, creí que no hacía falta sentirse excesivamente turbado...

A medida que transcurrían las horas, me iba sintiendo cada vez más complacido. Francis y yo temíamos que la estructura del ADN resultara ser anodina y que no surgiera nada acerca de su multiplicación ni de su función de control de la bioquímica celular. Pero ahora, para complacencia y asombro míos, la solución parecía ser profundamente interesante. Durante más de dos horas permanecí tendido en la cama con los dos ojos cerrados, representándome complacido parejas danzantes de adenina. Sólo en algunos momentos me asaltó el temor de que una idea tan buena pudiera ser errónea.

Para el mediodía siguiente, mi esquema quedó hecho trizas. Se alzaba contra mí el embarazoso hecho químico de que había elegido formas inadecuadas de guanina y timina. Antes de que la verdad se abriera paso, había desayunado apresuradamente en el "Whim" y había

vuelto luego por unos momentos al Clare College para contestar una carta de Max Delbrück...

Nada más entrar en el despacho y empezar a explicar mi esquema, el cristalógrafo americano Jerry Donohue afirmó que no era bueno. En opinión de Jerry, las formas tautómeras que yo había copiado del libro de Davidson eran incorrectas. Mi réplica inmediata de que varios otros textos representaban también la guanina y la timina en la forma enol no le produjo ningún efecto. Explicó que, durante años, los químicos orgánicos habían estado favoreciendo arbitrariamente particulares formas tautómeras con preferencia a sus alternativas, sobre bases notoriamente endebles. De hecho, los libros de texto de química orgánica estaban llenos de esquemas de formas tautómeras sumamente improbables. La forma de la guanina que yo le estaba presentando era falsa con toda seguridad, pues su intuición química le decía que se presentaría en forma ceto. Estaba igualmente seguro de que también la configuración enol de la timina era incorrecta. Él se inclinaba por la alternativa ceto...

Preocupado, volví a mi mesa. Aún confiaba en que surgiera algo que pudiera salvar la idea de los enlaces entre bases iguales, pero era evidente que los nuevos hechos contradecían tales suposiciones... Cuando entró Crick se dio cuenta en seguida de que una estructura con las bases iguales emparejadas sólo podría dar una repetición cristalográfica de 34 Å en el caso de que cada cadena tuviera una rotación completa cada 68 Å, lo que significaría que el ángulo de rotación entre bases sucesivas sería sólo de 18 grados, un valor que Francis consideraba excluido por sus recientes manipulaciones con los modelos. Además, tampoco le gustaba el hecho de que mi modelo no diera ninguna explicación a las reglas de [Erwin] Chargaff (adenina igual a timina, guanina igual a citosina)...

Tras el almuerzo no sentía grandes deseos de volver al trabajo. Temía que, al tratar de encajar las formas ceto en un nuevo esquema, tropezara contra un muro de piedra y tuviese que enfrentarme al hecho de que ningún esquema regular de enlaces de hidrógeno era compatible con la evidencia suministrada por los rayos X. Mientras permaneciera afuera mirando las flores, abrigaba la esperanza de que me vendría a la cabeza alguna bella disposición de las bases. Por fortuna, mientras subíamos la escalera encontré una excusa para retrasar, al menos durante varias horas, el paso crucial de reconstruir el modelo. Los modelos metálicos de purina y pirimidina, necesarios para comprobar sistemáticamente todas las posibilidades concebibles de enlace de hidrógeno, no habían sido terminados a tiempo. Serían precisos dos días más, como mínimo, antes de que estuvieran en nuestras manos. Esto era demasiado tiempo para que yo me mantuviera inactivo, así que pasé el resto de la tarde cortando representaciones exactas de las bases en cartulina rígida. Cuando las tuve listas, comprendí que la solución debía ser aplazada hasta el día siguiente, ya que después de cenar tenía que ir al teatro con un grupo de la casa de Pop.

A la mañana siguiente, cuando llegué a nuestro despacho, limpié de papeles mi mesa a fin de tener una superficie amplia en la que formar pares de bases unidas por puentes de hidrógeno. Aunque al principio volví a mi idea de enlazar bases iguales, al poco rato me di cuenta de que aquello no conducía a ninguna parte. Cuando Jerry entró, levanté la vista, pero al ver que no era Francis empecé a combinar las bases en otras diversas posibilidades de emparejamiento.

De pronto, me di cuenta de que un par adenina-timina unido por dos enlaces de hidrógeno tenía forma idéntica a la de un par guanina-citosina. Todos los puentes de hidrógeno parecían formarse de un modo natural, y no se necesitaba ningún artificio para que los dos pares de bases fueran idénticos en su forma. Al momento llamé a Jerry para preguntarle si esta vez tenía alguna objeción que hacer a mis nuevos pares de bases.

Al responderme que no, sentí renacer mis esperanzas, pues sospechaba que ahora había encontrado la solución al enigma de por qué el número de radicales de purina igualaba exactamente al número de radicales de pirimidina. Dos secuencias irregulares de bases podían ser introducidas de un modo regular en el centro de una hélice, siempre que una purina se enlazara por un puente de hidrógeno con una pirimidina. Además, la exigencia de tal enlace de hidrógeno significaba que la adenina se emparejaría siempre con la timina, mientras que la guanina se emparejaría solamente con la citosina. Las reglas de Chargaff emergían de pronto como consecuencia de una estructura de doble hélice para el ADN. Y, lo que era más excitante, este tipo de doble hélice sugería un esquema de multiplicación mucho más satisfactorio que mi idea de emparejar bases semejantes. Emparejar siempre la adenina con la timina y la guanina con la citosina significaba que las secuencias de bases de las dos cadenas eran complementarias una de otra. Dada la secuencia de bases de una cadena, quedaba automáticamente determinada la de su compañera. Era muy fácil imaginar cómo una cadena aislada podía ser la plantilla para la síntesis de una cadena con la secuencia complementaria.

Cuando Francis llegó, antes incluso de que cruzara por completo el umbral de la puerta, ya le había comunicado que teníamos la solución en nuestras manos. Aunque, por cuestión de principio, mantuvo su escepticismo durante unos momentos, la forma similar de los pares A-T y G-C produjo el impacto esperado. Y aunque se apresuró a disponer las bases en gran número de formas diferentes, no pudimos encontrar ningún otro modo de satisfacer las reglas de Chargaff. Pocos minutos después, Francis advirtió el hecho de que los dos enlaces glucosídicos (que unían una base y un azúcar) de cada par de bases estaban sistemáticamente relacionados por un eje perpendicular al eje helicoidal. Así, ambos pares podían ser volteados y seguir teniendo sus enlaces glucosídicos apuntados en la misma dirección. Esto tenía la importante consecuen-

cia de que una cadena dada podía contener, al mismo tiempo, purinas y pirimidinas. Por otra parte, sugería que las dos cadenas debían correr en direcciones opuestas.

La cuestión estaba entonces en saber si los pares de bases A-T y G-C encajarían fácilmente en la configuración de la cadena ideada durante las dos semanas anteriores. Así parecía a primera vista, ya que en el centro yo había dejado libre un gran espacio para las bases. Sin embargo, ambos sabíamos que no lograríamos el pleno éxito hasta no construir un modelo completo en el que todos los contactos estereoquímicos fuesen satisfactorios. Estaba también el hecho evidente de que las implicaciones del modelo eran demasiado importantes para arriesgarse a cantar victoria. Por eso, sentí una ligera aprensión cuando, a la hora de comer, Francis se precipitó al "Eagle" para decir a todos cuantos pudieran oírle que habíamos descubierto el secreto de la vida.»

«DNA: A cooperative history» (1995)

(«ADN: una historia de cooperación»), F. H. Crick

«En primer y más importante lugar, debo recordar a Rosalind Franklin, cuyas contribuciones no han sido suficientemente reconocidas en estas reuniones del cuarenta aniversario de su descubrimiento. Fue Franklin quien demostró claramente la existencia de dos formas de ADN —la forma A y la B—. Fue Rosalind quien con gran esfuerzo determinó la densidad, las dimensiones celulares exactas y la simetría de la forma A, evidencia que sugirió muy firmemente que la estructura tenía dos cadenas (y no sólo una), que circulaban en direcciones opuestas. Y tenemos que saludar también a Maurice Wilkins, no sólo por iniciar los experimentos sobre la estructura del ADN en el King's College de Londres, sino también por muchos años de duro trabajo, después de que Rosalind dejara el King's, con el que demostró que las imágenes de difracción de rayos X de fibras de ADN se ajustaban a variantes del modelo de doble hélice. No sé si Maurice se habría embarcado en el ADN sin el trabajo pionero de Bill Astbury en Leeds. Astbury fue un experimentador aventurero pero no meticuloso, al igual que un descuidado constructor de modelos, pero tuvo razón al atribuir al apilamiento de las bases la reflexión meridional de 3,4 Å.

En el lado químico, no habría sido posible construir modelos correctos sin la fórmula química general del ADN, determinada sobre todo por el trabajo de lord Todd y sus colegas. Pero quizá la información más vital fue suministrada por el cuidadoso trabajo de Erwin Chargaff, que le condujo a su regla de las cantidades relativas de las cuatro bases. Igual de fundamental fue el artículo de Avery, MacLeod y McCarty demos-

trando que el factor de multiplicación del neumococo estaba hecho casi con seguridad de ADN. Otra clave importante fue suministrada por Gulland, cuyo trabajo en la curva de análisis volumétrico del ADN sugirió, aunque no demostró, que el ADN en solución se mantenía unido por enlaces de hidrógeno.

Toda la aproximación que utilizamos Jim [Watson] y yo —combinando datos de rayos X bastante inadecuados con las restricciones a la construcción de modelos impuesta por la química— fue ampliamente inspirada por Linus Pauling, que no sólo nos dio el muy pertinente ejemplo de la hélice alfa, sino que su grupo había establecido muchas de las distancias y los ángulos clave que se necesitaban para construir modelos satisfactorios.

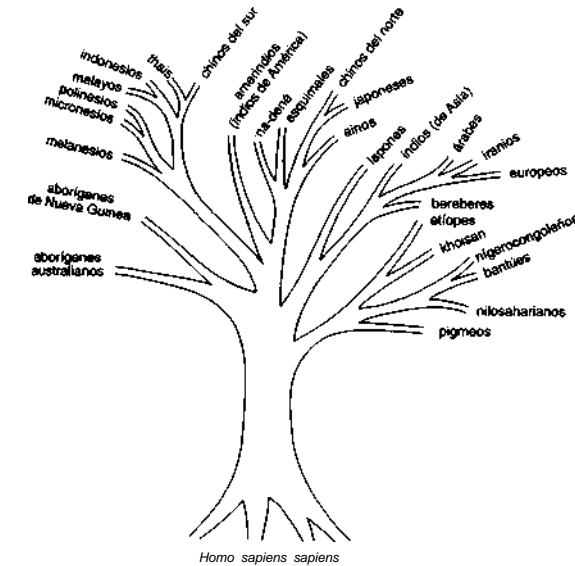
Todos estos investigadores, entre muchos otros, proporcionaron numerosas piezas de información pertinentes, que Jim y yo necesitábamos para conjeturar la estructura. Nosotros simplemente pusimos la chispa de una idea al confuso conjunto de hechos y especulaciones. De manera que cuando saludamos a la molécula de ADN —y a todo lo mucho más que sabemos sobre ella hoy—, podemos ver que el descubrimiento de la doble hélice fue posible porque tantos científicos habían proporcionado información vital acerca de diferentes aspectos de ella. Es esta dimensión cooperativa de la ciencia la que querría resaltar, incluso si, inevitablemente, se produce algún grado de competición entre grupos que trabajan exactamente en el mismo nicho científico.

Afortunadamente, la molécula de ADN no sabe nada de todo esto. Ha estado sentada ahí, haciendo su trabajo, durante casi cuatro mil millones de años, esperando ser descubierta. ¡Esperemos que prospere durante mucho tiempo!»

JAMES DEWEY WATSON (Chicago, 1928). Se doctoró, bajo la dirección de Salvador Luria, en 1950 en la Universidad de Indiana. En 1951, mientras ampliaba estudios en Inglaterra (Cambridge), comenzó su colaboración con James Crick, que culminaría en 1953 con el descubrimiento de la estructura del ADN, por el que recibió, compartiéndolo con Crick y Maurice Wilkins, el premio Nobel de Medicina y Fisiología correspondiente a 1962. Al regresar a Estados Unidos, se incorporó al claustro de la Universidad de Harvard. En 1965 publicó un texto clásico: *The Molecular Biology of Gene*. En 1968 fue nombrado director del Cold Spring Harbor Laboratory, y en 1988 director asociado del Proyecto Genoma Humano del Instituto Nacional de la Salud.

FRANCIS H. CRICK (Northampton, 1916). Estudió física en el University College de Londres. Durante la segunda guerra mundial trabajó en investigación bélica, y una vez finalizada la contienda se trasladó a Cambridge, con el propósito de cambiar su campo de investigación hacia la biología. Mientras preparaba su tesis doctoral, que finalizó en 1954, conoció a Watson, iniciándose la colaboración entre ambos. Después de una distinguida carrera académica en Cambridge, se trasladó a Estados Unidos, donde es catedrático de investigación en el Instituto Salk, ocupándose de problemas de neurobiología y de la naturaleza de la conciencia.

62-63. Sobre herencias y razas (II): Gould y Cavalli-Sforza



Vuelvo ahora sobre un tema que ya apareció con anterioridad, junto a los nombres —y las palabras— de Lombroso y Galton: el de las herencias y razas. En nuestro siglo han continuado siendo —son todavía— frecuentes los intentos por demostrar que la inteligencia, el alcoholismo, el crimen, la depresión, la locura o las características de los géneros, por poner algunos ejemplos, son el producto inflexible de genes humanos, hormonas, anatomía neuronal o historia evolutiva.

Es importante recordar, sin embargo, que muchos de los esfuerzos por relacionar características humanas con predisposiciones biológicas han surgido a menudo como respuestas conservadoras a movimientos de liberación. En 1969, en el climax del activismo en favor de los derechos civiles, Arthur Jensen propuso que la media de las diferencias en cocientes de inteligencia entre blancos y negros se debía a diferencias genéticas entre las dos «razas»; en la década de los setenta, en la cima del movi-

miento feminista, el sociobiólogo Edward O. Wilson sugirió que es poco probable que las mujeres alcancen alguna vez la igualdad con los hombres en las esferas de los negocios y la ciencia, dada su adaptación evolutiva a papeles sociales diferentes.

El peligro de que los estudios hereditarios puedan ser utilizados con intenciones políticas no es producto de la imaginación de aquellos que ven con ojos críticos estas investigaciones. Poco después de que se publicase en 1969 la controvertida tesis de Jensen, el artículo completo (123 páginas) fue leído en el *Congressional Record* a petición de un congresista sureño. Asimismo, el gabinete de Richard Nixon fue informado sobre el artículo, advirtiéndose que sus implicaciones políticas debían ser tomadas seriamente.

Ocurre, no obstante, que existen serias dudas sobre el rigor científico, metodológico, de muchas de las investigaciones que se nos presentan como concluyentes. Veamos algunos ejemplos. Comprobar la inteligencia individual de niños o adultos es una tarea extremadamente difícil cuando no conocemos las contribuciones de las denominadas inteligencia potencial y cinética. Esto es, cuando desconocemos cuánto de la contestación que se ofrece en un examen se debe a conocimientos previos, y cuánto se ha generado en el momento. El almacén de conocimientos que es el cerebro (incluyendo reglas o algoritmos para resolver problemas) es tan vasto que oscurece diferencias en el procesamiento de la inteligencia cinética. Una heredabilidad elevada del coeficiente de inteligencia puede indicar nada más que en su determinación el ambiente familiar, el grupo social a que se pertenece, continúa siendo más importante que la educación recibida. Más aún, el hecho de que un rasgo dado sea altamente heredable en un medio determinado, nos dice poco acerca de si tal heredabilidad será alta en un medio diferente.

Junto a la medida de la inteligencia, la comprensión de las diferencias entre hombres y mujeres ha sido otro de los temas frecuentes en el mundo del determinismo biológico. Entre los múltiples recursos utilizados figura el hecho, fisiológico, de que por la sangre de los varones circula mayor volumen de la hormona testosterona que por la de las mujeres. Esta innegable realidad se ha esgrimido para proclamar que los varones son congénitamente más agresivos que las mujeres, lo que, a su vez, ha servido como base para diferentes conclusiones sobre sus respectivos papeles sociales. Ahora bien, ni siquiera la pretendida base científica para relacionar niveles de testosterona con agresividad está clara, a pesar de ejemplos evidentes como la pérdida de bravura de los toros castrados. En los seres humanos la castración reduce o elimina la pulsión y potencia sexual, pero tiene escasos o nulos efectos disuasorios sobre la agresividad. Con el desarrollo de la corteza cerebral las influencias hormonales sobre el comportamiento de los primates no se pierden pero pueden ser sustituidas. Como ha recordado no hace demasiado el gran an-

tropólogo Marvin Harris, las mujeres pueden aprender a ser más agresivas que los hombres si las exigencias de la vida social reclamaran papeles sexuales agresivos para las mujeres y comportamientos más pasivos para los varones.

Es importante resaltar que los puntos que estoy señalando no deben entenderse en el sentido de que se deba considerar que investigaciones de esta clase sean algo, en principio, censurable o que no tengan sentido. Pero, en este tipo de problemas mucho más que en otros, no es posible olvidar preguntas como: ¿Cuál es el propósito de tal investigación? ¿Cómo se empleará y quiénes ganarán o perderán con sus resultados?

Por último, ¿y qué aunque se demostrase que alguna raza, género o colectivo transporta en su acervo genético características que le sitúan en una condición desventajosa? ¿Debe ser nuestro mundo uno en el que la norma sea la máxima rentabilidad? ¿Un mundo en el que conclusiones extraídas mediante análisis científicos se impongan sobre las convicciones morales? Ni la ciencia está para eso, ni debemos olvidar que el progreso científico no ha sido el único progreso. La historia de la especie humana es pródiga en esfuerzos por acomodar en la vida comunal los derechos de los «otros», lo que significa también ayudar a los desfavorecidos. En la actualidad incluso incluimos entre esos «otros» a los animales, y muchos lo hacen no porque les gusten, acaso ni siquiera porque les den lástima, sino porque lo creen justo.

Pero regresemos al ámbito, con frecuencia menos apasionado, de la investigación científica. Y demos la palabra a dos científicos que se han ocupado de estos problemas: Stephen Jay Gould y Luca Cavalli-Sforza (este último en un texto de divulgación escrito en colaboración con su hijo Francesco).

S.J. Gould

The Mismeasure of Man (1981) (La falsa medida del hombre)

«Prácticamente todos los argumentos de Lombroso estaban contruidos de forma que nunca pudiesen fracasar; por tanto, eran vacuos des-

de el punto de vista científico. Aunque mencionase abundantes datos numéricos para otorgar un aire de objetividad a su obra, ésta siguió siendo tan vulnerable que incluso la mayoría de los miembros de la escuela de Broca se opusieron a su teoría del atavismo. Cada vez que Lombroso se topaba con un hecho que no cuadraba con dicha teoría, recurría a algún tipo de acrobacia mental que le permitiera incorporarlo a su sistema...

La mayoría de los estigmas anatómicos señalados por Lombroso... no eran patologías ni variaciones discontinuas, sino valores extremos dentro de una curva normal, que se aproximaban a las medidas medias que el rasgo en cuestión presenta en los simios superiores. Desde una perspectiva moderna, esta es una razón fundamental del error en que incurrió Lombroso. La longitud del brazo no es igual en todos los hombres, y algunos han de tener brazos más largos que los otros. El chimpancé medio tiene el brazo más largo que el hombre medio, pero esto no significa que un hombre dotado de un brazo relativamente largo se pareciera genéticamente a los monos. La variación normal *dentro* de una población es un fenómeno biológico distinto de las diferencias que existen *entre* los valores medios de diversas poblaciones. Es un error que se repite con frecuencia. Del mismo deriva la falacia en que incurre Arthur Jensen cuando sostiene que las diferencias medias que se observan en el CI [coeficiente de inteligencia] de los norteamericanos blancos y negros son en gran parte heredadas... Un verdadero atavismo es un rasgo ancestral, discontinuo y debido a causas genéticas; por ejemplo, cuando nace un caballo dotado de dedos laterales funcionales...

Hemos rechazado muchas teorías específicas de determinismo biológico porque nuestro conocimiento de la biología, la evolución y la genética humanas ha aumentado... La herencia poligénica postula la participación de muchos genes —y de un ejército de efectos interactivos y ambientales— en caracteres como el color de la piel humana.

Una cuestión más importante —que justifica la necesidad del conocimiento biológico— es la notable falta de diferenciación genética entre los grupos humanos (argumento biológico clave para desmitificar el determinismo). Esa falta de diferenciación es un resultado contingente de la evolución, no una verdad necesaria y *a priori*. El mundo podría estar ordenado de otra manera. Supongamos que hubiesen sobrevivido una o varias especies de nuestro género ancestral *Australopithecus*, situación, en teoría, perfectamente plausible, porque las nuevas especies surgen por división de las antiguas (los antepasados suelen sobrevivir durante algún tiempo), y no mediante la transformación global de toda la población. En tal caso, nosotros —es decir, *Homo sapiens*— habríamos tenido que afrontar todos los dilemas morales que entraña el trato con una especie humana de capacidad mental netamente inferior. ¿Qué habríamos hecho con ella? ¿Esclavizarla? ¿Eliminarla? ¿Coexistir con ella? ¿Emplearla para el trabajo doméstico? ¿Confinarla en reservas o en zoológicos?

Del mismo modo, nuestra especie podría incluir un conjunto de subespecies (razas) dotadas de capacidades genéticas significativamente diferentes. Si nuestra especie tuviera millones de años de antigüedad (como es el caso de muchas), y si sus razas hubieran estado geográficamente separadas durante la mayor parte de ese tiempo sin intercambio genético significativo, entonces quizá se habrían acumulado lentamente grandes diferencias genéticas entre los grupos. Pero el *Homo sapiens* sólo tiene, a lo sumo, unos pocos centenares de miles de años de edad, y probablemente todas las razas modernas se escindieron de un linaje ancestral común hace aproximadamente cien mil años. Unos pocos caracteres ostensibles de la apariencia externa nos conducen a considerar subjetivamente que se trata de diferencias importantes, pero los biólogos han afirmado recientemente, aunque lo sospechaban hace tiempo, que las diferencias genéticas globales entre las razas humanas son asombrosamente pequeñas. Aunque la frecuencia de los distintos estados de un gen difieren entre las razas, no hemos encontrado "genes de la raza", es decir, estados establecidos en ciertas razas y ausentes en todas las demás razas. Lewontin (1972) estudió la variación de diecisiete genes que codifican diferencias de sangre y comprobó que sólo el 6,3 por 100 de la variación se podía atribuir a la pertenencia a una raza. Nada menos que el 85,4 por 100 de la variación se daba dentro de poblaciones locales (el 8,3 por 100 restante correspondía a diferencias entre poblaciones locales dentro de una misma raza). Como observaba Lewontin (comunicación personal), si llegara el holocausto y si los únicos sobrevivientes fueran los miembros de una pequeña tribu residente en lo más profundo de los bosques de Nueva Guinea, se conservarían casi todas las variaciones genéticas actualmente presentes en los innumerables grupos de nuestra población de cinco mil millones de personas.

Esta información acerca de las limitadas diferencias genéticas entre los grupos humanos es tan útil como interesante, incluso en el sentido más profundo, para salvar vidas humanas. Cuando los eugenistas norteamericanos atribuyeron las enfermedades de la pobreza a la constitución genética inferior de la gente pobre, no pudieron proponer otro remedio sistemático que la esterilización. Cuando Joseph Goldberg demostró que la pelagra no era un trastorno genético, sino una consecuencia de la avitaminosis entre los pobres, pudo curarla.»

STEPHEN JAY GOULD (Nueva York, 1941). Se graduó por el Antioch College de Ohio (1963) y se doctoró por la Universidad de Columbia en 1967, el mismo año en que se unió al claustro de la Universidad de Harvard, en la que accedió a su primera cátedra (de Geología) en 1973, convirtiéndose en 1981 en *Alexander Agassiz professor* de zoología. Gould se ha distinguido por sus contribuciones a la paleontología y la biología evolutiva, además de por escritos (como *El pulgar del panda* o *La vida maravillosa*) en los que combina la divulgación científica con un profundo humanismo.

Luca y Francesco Cavalli-Sforza

Chisiamo. La storia della diversità umana (1993) (*Quiénes somos. La historia de la diversidad humana*)

«Somos muy poco distintos. Acostumbrados a resaltar la diferencia entre piel blanca y piel negra, o entre las estructuras faciales, tendemos a creer que hay grandes diferencias entre europeos, africanos, asiáticos, etcétera. En realidad, los genes responsables de estas diferencias visibles son los que han cambiado en respuesta al clima. Quienes hoy viven en los trópicos o en el ártico *han tenido* que adaptarse a las condiciones locales en el transcurso de la evolución. No puede haber demasiada variación individual en los caracteres que controlan nuestra capacidad para vivir en nuestro medio. También debemos tener en cuenta otra necesidad: los genes que responden al clima influyen sobre *caracteres externos del cuerpo*, porque la adaptación al clima requiere sobre todo que haya modificaciones en la superficie del cuerpo (que es nuestra interfase con el mundo exterior). *Al ser exteriores, estas diferencias raciales saltan a la vista, y automáticamente pensamos que en el resto de la constitución genética debe haber diferencias de la misma envergadura. Pero no es así; en el resto de nuestra constitución genética nos diferenciamos poco...*

Para entender bien el racismo es importante aclarar el significado de la palabra raza, que a veces es usada para designar a toda la especie humana, sobre todo en inglés, pero con más frecuencia a una división suya. Muchas veces se usa como sinónimo de nación o pueblo, lo que crea una notable confusión. Una definición que encuentro en el diccionario etimológico de Cortelazzo y Zolli dice así: "Conjunto de individuos de una especie animal o vegetal que se diferencian de otros grupos de la misma especie en uno o más caracteres constantes y transmisibles a los descendientes"...

En cualquier caso lo importante es que el término se refiere a caracteres "constantes y transmisibles", o como diríamos hoy, genéticamente determinados. Pero la palabra "constantes" puede dar lugar a dudas: ¿Significa invariables entre individuos, o invariables en el tiempo? En ambos casos hay que tomarla con reservas. Generalmente, carecemos de información sobre el comportamiento de un carácter con el paso del tiempo, y nos contentamos con hablar de la variabilidad entre individuos tal y como la observamos hoy. En casi todos los caracteres hereditarios observados vemos que las diferencias entre individuos son más importantes que las que se aprecian entre grupos raciales. Muy po-

cas veces sucede como con el color de la piel, que todos los individuos de la raza A son decididamente oscuros y los de la raza B, claros.

No existe una constancia que satisfaga adecuadamente la definición corriente de "raza". Es complicado distinguir las razas. Siempre debemos basarnos en estadísticas de la frecuencia de muchos individuos, nunca de un solo carácter. Ni tan sólo somos capaces de contestar a esta pregunta: ¿Cuántas razas hay en la Tierra?»

Luía LUCA CAVALLI-SFORZA (Genova, 1922). Es catedrático de Genética en la Universidad de Stanford. Sus investigaciones han permitido construir mapas genéticos que han **dado lugar** a una nueva imagen de los orígenes y la evolución de la humanidad. Entre **sus** obras destaca el monumental *The History and Geography of Human Genes* (1994), escrito en colaboración con Paolo Menozzi y Alberto Piazza.

64. Los pesticidas, elixires de la muerte: Rachel Carson



El progreso industrial tiene sus inconvenientes, y uno de los mayores es la contaminación que produce, un fenómeno de múltiples caras que se ha convertido en uno de los grandes males de nuestra civilización. En 1962, en un hermoso libro titulado *Silent Spring* [*Primavera silenciosa*], una zoóloga estadounidense, Rachel Carson, efectuó una de las denuncias más poderosas y eficaces de los efectos nocivos que para la naturaleza tiene el empleo masivo de productos químicos como los pesticidas, el DDT en particular, un producto éste que tantos beneficios había aportado, aparentemente, con anterioridad. A pesar de las denuncias del influyente *lobby* agroquímico norteamericano, el libro de Carson, que se convirtió en seguida en un éxito de ventas, obligó a que se formase un Comité Asesor al presidente para el empleo de pesticidas. No se limitó su influencia a este hecho, restringido, por otra parte, a un solo país: *Silent Spring* inspiró un movi-

miento mundial de preocupación por la conservación de la naturaleza.

Así, de la mano de Rachel Carson, la voz de la ciencia, de una científica, se hizo también la voz de la humanidad.

Silent Spring (1962) (*Primavera silenciosa*); del capítulo 3 («Elixires de la muerte»)

«Por primera vez en la historia del mundo, todo ser humano está ahora en contacto con productos químicos peligrosos, desde el momento de su concepción hasta su muerte. En menos de dos décadas de su uso, los pesticidas sintéticos han sido distribuidos tan intensamente por el mundo inanimado al igual que por el animado que están presentes en prácticamente todas partes. Han sido recuperados de la mayor parte de los principales sistemas fluviales e incluso de corrientes de agua subterránea que fluyen por la tierra sin que las veamos. Residuos de estos productos químicos permanecen en suelos a los que pueden haber sido aplicados una docena de años antes. Han penetrado y se han instalado en los cuerpos de peces, pájaros, reptiles y animales domésticos y salvajes tan universalmente que los científicos que llevan a cabo experimentos con animales encuentran casi imposible localizar ejemplares libres de tal contaminación. Se los ha encontrado en peces de remotos lagos de montaña, en lombrices enterradas en el suelo, en los huevos de pájaros y en el propio hombre. Estos productos químicos están ahora almacenados en los cuerpos de la vasta mayoría de los seres humanos. Aparecen en la leche materna, y probablemente en los tejidos del niño que todavía no ha nacido.

Todo esto ha llegado a producirse debido a la repentina aparición y prodigioso crecimiento de una industria para la elaboración de productos químicos fabricados por el hombre, o sintéticos, con propiedades insecticidas. Esta industria es hija de la segunda guerra mundial. En el curso del desarrollo de agentes de guerra química, se encontró que algunos de los productos químicos creados en el laboratorio eran letales para los insectos. El descubrimiento no vino por azar: se utilizaban ampliamente insectos para comprobar los productos químicos como agentes de muerte para el hombre.

El resultado ha sido una aparentemente interminable corriente de insecticidas sintéticos. Al ser producidos por el hombre —mediante ingeniosas manipulaciones de las moléculas realizadas en el laboratorio, substituyendo átomos, alterando su disposición—, difieren profundamente de los más simples insecticidas inorgánicos de los días prebélicos. Éstos se habían obtenido de minerales y productos de plantas que

aparecen de manera natural: compuestos de arsénico, cobre, plomo, manganeso, cinc, y otros minerales, piretro de las flores secas del crisantemo, sulfato de nicotina de algunos de los familiares del tabaco y rotenona de las plantas leguminosas de las Indias Orientales.

Lo que sitúa en un lugar aparte a los nuevos insecticidas sintéticos es su enorme potencia biológica. Tienen inmenso poder no meramente para envenenar, sino para entrar en los procesos más vitales de los cuerpos y cambiarlos en formas siniestras y a menudo mortales. Así... destruyen aquellas enzimas cuya función es proteger el cuerpo del daño, bloquean los procesos de oxidación de los que el cuerpo recibe su energía, previenen el funcionamiento normal de varios órganos y pueden iniciar en ciertas células el lento e irreversible cambio que conduce a la malignidad.

Y sin embargo, se añaden a la lista cada año nuevos y más letales productos químicos y se diseñan nuevos usos de manera que el contacto con estos materiales se ha convertido en prácticamente mundial. La producción de pesticidas sintéticos en Estados Unidos se elevó de 124.259.000 libras en 1947 a 637.666.000 libras en 1960, un incremento de más de cinco veces. El valor de venta de estos productos fue bastante superior a 250 millones de dólares. Pero en los planes y las esperanzas de la industria esta enorme producción es sólo el principio.

Un «quien es quien» de pesticidas es, por consiguiente, algo que nos interesa a todos. Si vamos a vivir tan íntimamente con estos productos químicos —comiéndolos y bebiéndolos, recibiendo en la misma médula de nuestros huesos— mejor será que conozcamos algo acerca de su naturaleza y su poder.»

RACHEL LOUISE CARSON (Springdale, Filadelfia, 1907- Silver Spring, Maryland, 1964). Se graduó en zoología en 1929 por la Universidad Johns Hopkins. Después de recibir un *máster* en zoología en 1932, pasó a formar parte del Departamento de Zoología de la Universidad de Maryland. Sin embargo, circunstancias familiares le obligaron a renunciar a una carrera académica, pasando a trabajar en el United States Bureau de Pesca, escribiendo en su tiempo libre artículos sobre vida marina. Una vez finalizada la segunda guerra mundial, en 1949, se convirtió en la bióloga principal del United States Service Fish and Wildlife Service. En 1951 apareció su libro *The Sea Around Us* (*El mar en torno nuestro*), que se convirtió inmediatamente en un éxito de ventas. El año siguiente abandonó su empleo, convirtiéndose en escritora profesional.

65. Los primeros instantes del Universo: Weinberg



El Universo constituye uno de esos problemas que no es exagerado calificar de atávicos. ¿Quién no se ha planteado en algún momento de su vida cuál es su origen, presente y futuro? Y tales preguntas no son exclusivamente nuestras, de los humanos de hace unos pocos milenios; lo más probable es que se plantearan tan pronto como el *homo sapiens* comenzó su andadura, acaso incluso antes.

Una cosa es, sin embargo, hacerse preguntas acerca del Universo, y otra hacérselas desde la perspectiva de la ciencia. Nuestro siglo ha sido afortunado en este sentido, ya que el desarrollo de la teoría de la relatividad general permitió que se constituyese la cosmología (la ciencia del Universo) como una disciplina analítica, con capacidad de predicción. De hecho, fue el propio Albert Einstein el responsable de su creación, cuando en 1916, aplicó su nueva teoría gravitacional al conjunto del Universo, encontrando un modelo de universo estático de densidad unifor-

me. Tal modelo fue finalmente arrinconado ante la evidencia experimental —proporcionada por el astrofísico estadounidense Edwin Hubble a finales de los años veinte— de que el Universo no es estático sino que se expande, aunque afortunadamente para la cosmología relativista existen soluciones de sus ecuaciones que conducen a modelos de Universo en expansión.

Básicamente, y aunque tuvo lugar algún hallazgo muy notable (como el del fondo de radiación de microondas, la «reliquia fósil» del gran estallido inicial, descubierto por Arno Penzias y Robert Wilson en 1965), la cosmología no cambió sustancialmente hasta la década de los años setenta, cuando se convirtió en objeto de interés por los físicos de altas energías, que buscaban en los primeros instantes de existencia del Universo un escenario adecuado para probar y desarrollar sus teorías, y entre ellas, muy en particular, las que se ocupan de la unificación de las distintas fuerzas existentes en la naturaleza.

Steven Weinberg uno de los físicos de altas energías que más ha contribuido a despertar tal interés entre sus colegas. Y lo hizo no sólo a través de sus investigaciones, sino también con un libro de divulgación que llegó a ser (todavía lo es bastante) un auténtico éxito de ventas: *Los tres primeros minutos del Universo*. De él he entresacado algunas páginas, que incluye su ya famosa frase: «Cuanto más comprensible parece el Universo, tanto más sin sentido parece también.»

The First Three Minutes. A Modern View of the Universe (1977) (Los tres primeros minutos del Universo); del «Epílogo: La perspectiva futura.»

«El Universo ciertamente seguirá expandiéndose por un tiempo. En cuanto a su destino posterior, el modelo corriente hace una profecía equívoca: todo depende de que la densidad cósmica sea menor o mayor que un cierto valor crítico.

... Si la densidad cósmica es *menor* que la densidad crítica, entonces el Universo es de extensión infinita y seguirá expandiéndose eternamente. Nuestros descendientes, si los tenemos, verán llegar lentamente a su fin todas las reacciones termonucleares, dejando tras de sí diversas especies de residuos: estrellas enanas negras, estrellas neutrónicas y quizá agujeros negros. Los planetas seguramente continúen en órbita, disminuyendo un poco su ritmo a medida que irradian ondas gravitacionales, pero sin llegar nunca al reposo en un tiempo finito. Los

fondos cósmicos de radiación y de neutrinos seguirán reduciendo su temperatura en proporción inversa al tamaño del Universo, pero nunca faltarán; aún ahora apenas podemos detectar el fondo de radiación de microondas de 3° K.

En cambio, si la densidad cósmica es *mayor* que el valor crítico, entonces el Universo es finito y su expansión cesará alguna vez, dando origen a una contracción acelerada. Por ejemplo, si la densidad cósmica es el doble del valor crítico, y si el actual valor corriente de la constante de Hubble (15 kilómetros por segundo por millón de años-luz) es correcto, entonces el Universo tiene ahora 10.000 millones de años; seguirá expandiéndose por otros 50.000 millones de años y luego comenzará a contraerse... El tiempo de la contracción es el mismo que el de la expansión; después de 50.000 millones de años el Universo tendrá su tamaño actual, y después de otros 10.000 millones de años se acercará a un singular estado de densidad infinita.

Al menos durante la primera parte de la fase de contracción, los astrónomos (si los hay) podrán divertirse observando tanto corrimientos hacia el rojo como corrimientos hacia el azul...

La temperatura de los fondos cósmicos de fotones y neutrinos disminuirá y luego aumentará a medida que el Universo se expanda y luego se contraiga, siempre en proporción inversa al tamaño del Universo. Si la densidad cósmica es ahora el doble de su valor crítico, nuestros cálculos muestran que el Universo, en su máxima dilatación, será el doble de grande que en la actualidad, de manera que la temperatura del fondo de microondas será exactamente la mitad de 3° K, o sea, de 1,5° K. Luego, cuando el Universo empiece a contraerse, la temperatura comenzará a elevarse.

Al principio no habrá motivo de alarma: durante miles de millones de años el fondo de radiación será tan frío que costará un gran esfuerzo detectarlo. Pero cuando el Universo se haya contraído a un centésimo de su tamaño actual, el fondo de radiación empezará a dominar el cielo: el cielo nocturno será tan cálido (300° K) como el cielo actual durante el día. Setenta millones de años más tarde el Universo se habrá contraído otras diez veces y nuestros herederos y descendientes (si los hay) hallarán el cielo intolerablemente brillante. Las moléculas de las atmósferas planetarias y estelares y del espacio interestelar comenzarán a disociarse en sus átomos componentes, y los átomos se disolverán en electrones libres y núcleos atómicos. Después de otros 700.000 años, la temperatura cósmica será de diez millones de grados; entonces las mismas estrellas y los planetas se disolverán en una sopa cósmica de radiación, electrones y núcleos. La temperatura se elevará hasta 10.000 millones de grados en otros veintidós días. Los núcleos comenzarán a desmenuzarse en sus protones y neutrones constituyentes, deshaciéndose toda la obra de la nucleosíntesis estelar y cosmológica. Poco después empezará la creación de electrones y positrones en gran número

de choques entre fotones, y el fondo cósmico de neutrinos y antineutrinos recuperará la comunión térmica con el resto del Universo.

¿Podemos realmente llevar esta triste historia hasta el fin, hasta un estado de temperatura y densidad infinitas? ¿Se detiene realmente el tiempo tres minutos después de que la temperatura llegue a mil millones de grados? Obviamente, no podemos estar seguros... el Universo debe ser descrito en el lenguaje de la mecánica cuántica a temperaturas superiores a los cien millones de millones de millones de millones de millones de grados (10^{32} K), y nadie tiene idea de lo que ocurre entonces. Por otro lado, si el Universo no es realmente isótropo y homogéneo... entonces toda nuestra historia puede perder su validez mucho antes de que tengamos que abordar los problemas de la cosmología cuántica.

De estas incertidumbres, algunos cosmólogos derivan una especie de esperanza. Puede ser que el Universo experimente una suerte de "rebote" cósmico y comience a expandirse nuevamente. En el *Edda*, después de la batalla final de los dioses y los gigantes en Ragnarok, la Tierra es destruida por el fuego y el agua, pero el agua retrocede, los hijos de Thor suben del Infierno llevando el martillo de su padre y todo el mundo comienza una vez más. Pero si el Universo vuelve a expandirse, su expansión llegará a detenerse nuevamente y será seguida de otra contracción, que terminará en otro Ragnarok cósmico, seguido de un nuevo rebote, y así eternamente.

Si éste es nuestro futuro, presumiblemente también fue nuestro pasado. El actual Universo en expansión sólo sería la fase siguiente a la última contracción y rebote... Si miramos para atrás, podemos imaginar un ciclo interminable de expansión y contracción que se extiende al pasado infinito, sin comienzo alguno.

Algunos cosmólogos se sienten filosóficamente atraídos por el modelo de las oscilaciones, especialmente porque, como el modelo del estado estable, evita el problema del Génesis. Sin embargo, plantea una seria dificultad teórica. En cada ciclo la razón de los fotones a las partículas nucleares (o, más precisamente, la entropía por partículas nucleares) aumenta ligeramente por una especie de fricción (llamada "viscosidad de volumen") a medida que el Universo se expande y contrae. Según nuestro conocimiento, el Universo comenzaría entonces cada nuevo ciclo con una proporción ligeramente mayor de fotones a partículas nucleares. Ahora, esta proporción es grande, pero no infinita, de modo que es difícil comprender cómo el Universo puede haber experimentado antes un número infinito de ciclos.

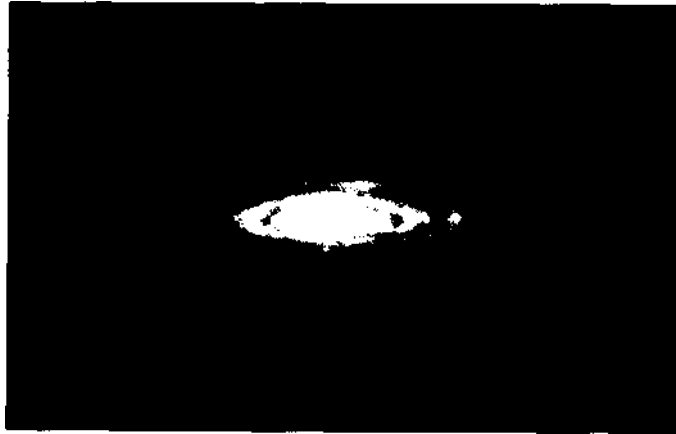
Sin embargo, todos estos problemas pueden resolverse, y sea cual fuere el modelo cosmológico correcto, no podemos hallar mucho consuelo en ninguno de ellos. Para los seres humanos, es casi irresistible el creer que tenemos alguna relación especial con el Universo, que la vida humana no es solamente el resultado más o menos absurdo de una ca-

dena de accidentes que se remonta a los tres primeros minutos, sino que de algún modo formábamos parte de él desde el comienzo. Mientras escribo estas líneas, viajo en un avión a diez mil metros de altura, sobre Wyoming, en viaje de vuelta de San Francisco a Boston. Debajo, la tierra parece muy suave y confortable, salpicada de vaporosas nubes, con nieve que adquiere una tonalidad rosada a medida que el Sol se pone y caminos que se extienden en línea recta por el campo de una ciudad a otra. Es difícil darse cuenta de que todo esto sólo es una minúscula parte de un universo abrumadoramente hostil. Aún más difícil es comprender que este Universo actual ha evolucionado desde una condición inefablemente extraña, y tiene ante sí una futura extinción en el frío eterno o el calor intolerable. Cuanto más comprensible parece el Universo, tanto más sin sentido parece también.

Pero si no hay alivio en los frutos de nuestra investigación, hay al menos algún consuelo en la investigación misma. Los hombres no se contentan con consolarse mediante cuentos de dioses y gigantes, o limitando sus pensamientos a los asuntos cotidianos de la vida. También construyen telescopios, satélites y aceleradores, y se sientan en sus escritorios durante horas interminables tratando de discernir el significado de los datos que reúnen. El esfuerzo para comprender el Universo es una de las pocas cosas que eleva la vida humana por sobre el nivel de la farsa y le imprime algo de la elevación de la tragedia.»

STEVEN WEINBERG (Nueva York, 1933). Recibió su primer título superior por la Universidad de Cornell en 1954, y su doctorado por la Universidad de Princeton en 1957 con una tesis sobre la renormalizabilidad de las teorías de campos de la interacción débil. Su carrera profesional incluye puestos en la Universidad de Columbia, Nueva York, de 1957 a 1959, Universidad de California, Berkeley (1959-1969), Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) (1969-1973), Universidad de Harvard (1973-1983). Desde 1982 ha sido *Josey Regental Professor* en la Universidad de Texas, Austin. En 1979 recibió el premio Nobel de Física, compartido con Sheldon L. Glashow y Abdus Salam por «sus contribuciones a la teoría unificada de las interacciones electromagnética y débil entre partículas elementales, incluyendo *Inter alia* la predicción de las corrientes neutras débiles».

66. La magia de un nombre: Wheeler y los agujeros negros



Entre los objetos que ha propuesto la física de la segunda mitad de nuestro siglo, pocos han atraído tanto la atención popular como los agujeros negros. Se trata de unos objetos que han surgido en el contexto de la teoría de la relatividad general (aunque sus equivalentes newtonianos habían sido propuestos —y olvidados— mucho antes por el astrónomo británico John Michell en 1783, y por Pierre-Simon Laplace en 1795) y que involucran nociones tan radicales como la destrucción del espacio-tiempo en puntos denominados «singularidades». Y parece que existen (se ha detectado uno, Cygnus X-1, de 9,5 masas solares en la región del Cisne). Es indudable que todavía no comprendemos bien su «realidad»; la relatividad general es, al fin y al cabo, una teoría clásica, a la que no se han podido incorporar los principios cuánticos, que rigen, en particular, lo que sucede en el microcosmos, y cuando nos acercamos a esas «singularidades negras» las distancias entran en el dominio de lo

muy pequeño, de lo cuántico. Intentos de compatibilizar relatividad general y teoría cuántica han llevado a proponer — a científicos como Jacob Bekenstein y Stephen Hawking— que los agujeros negros no son tan negros, y que se pueden «evaporar» mediante procesos cuánticos. Pero todo esto pertenece todavía al futuro. Lo que hoy tenemos es un sorprendente concepto/objeto que remueve sentimientos muy profundos en nuestra especie, sentimientos atávicos que nos hablan de misterios en las entrañas del Universo. Sentimientos que favorecen, sin duda, un nombre con magia: *agujero negro*. Un nombre propuesto por un muy brillante físico estadounidense, John Archibald Wheeler, que en los extractos siguientes explica, primero, cómo llegó a tal término, y, luego, qué son realmente los agujeros negros.

Geons, Black Holes and Quantum Foam (1998)
(*Geones, agujeros negros y espuma cuántica*), John Wheeler con Kenneth Ford

«En el otoño de 1967, Vittorio Canuto, director administrativo del Instituto Goddard para Estudios Espaciales de la NASA, en el 2880 de Broadway, Nueva York, me invitó dar una conferencia para considerar posibles interpretaciones de las nuevas y sugerentes evidencias que llegaban de Inglaterra acerca de los pulsares. ¿Qué eran estos pulsares? ¿Enanas blancas que vibraban? ¿Estrellas de neutrones en rotación? ¿Qué? En mi charla argumenté que debíamos considerar la posibilidad de que en el centro de un pulsar se encontrase un objeto completamente colapsado gravitacionalmente. Señalé que no podíamos seguir diciendo, una y otra vez, "objeto completamente colapsado gravitacionalmente". Se necesitaba una frase descriptiva más corta. ¿Qué tal agujero negro?, preguntó alguien de la audiencia. Yo había estado buscando el término adecuado durante meses, rumiándolo en la cama, en la bañera, en mi coche, siempre que tenía un momento libre. De repente, este nombre me pareció totalmente correcto. Cuando, unas pocas semanas después, el 29 de diciembre de 1967, pronuncié la más formal conferencia Sigma Xi-Phi Kappa en la West Ballroom del Hilton de Nueva York, utilicé este término, y después lo incluí en la versión escrita de la conferencia publicada en la primavera de 1968. (Según se vio luego, un pulsar no está propulsado "meramente" por una estrella de neutrones, sino por un agujero negro.)»

A Journey into Gravity and Spacetime (1990)
(*Un viaje por la gravedad y el espacio-tiempo*)

«Un agujero negro difiere dramáticamente de una estrella de cualquier otro tipo. Otras estrellas contienen tanto masa como materia. Por el contrario, el agujero negro es masa desmaterializada, masa sin materia. El gato de Cheshire en *Alicia en el País de las Maravillas* se desvanecía dejando tras de sí sólo su sonrisa. De igual forma, las estrellas se desvanecen cayendo dentro de un agujero negro ya existente, o colapsando para crear un nuevo agujero negro. Toda huella de la estrella desaparece —su materia, sus manchas solares, sus protuberancias—. Sólo la atracción gravitatoria permanece, la atracción de una masa incorpórea. Esta atracción continúa manteniendo en su órbita a cualquier planeta que estuviese en órbita alrededor de la estrella mientras existía.

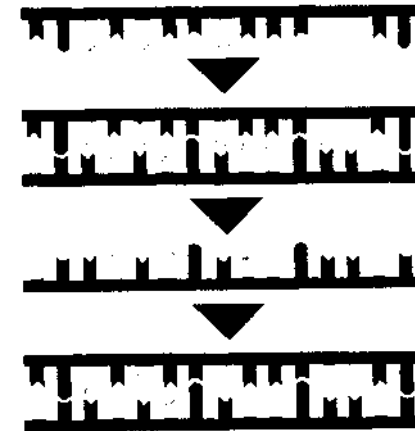
El físico italiano Tullio Regge me sugirió una vez que *Nimersatt*, el nunca satisfecho, podría haber sido un nombre más adecuado que "agujero negro" para denominar a una estrella totalmente colapsada: cuanto más grande es, más come, y cuanto más come, más crece.

En el centro del agujero negro está el punto de *colapso*. Allí, la materia que una vez compuso la estrella es comprimida y expulsada fuera de la existencia. En ese colapso la materia desaparece, con todas sus partículas, sus presiones y sus propiedades. Sólo queda la masa pura sin materia. Cualquier gas, planeta o estrella que caiga sufre el mismo destino, el colapso. El agujero negro condensa a este destino, no por lotería, sino por ley. La materia que transgrede el perímetro que indica el viaje sin retorno es atrapada y estrujada. La materia que permanece fuera es perdonada.

A la superficie formada por los puntos sin retorno se le llama comúnmente *horizonte* de un agujero negro. Un viajero que se aproxima en una nave espacial no siente ningún bache, ni ninguna aceleración, ni ninguna sacudida cuando cruza esta frontera sin demarcar. Sin embargo, una vez dentro no puede escapar, no importa lo potente que sea el motor de su cohete. Tampoco ninguna señal ni ningún mensaje de radio pueden ser emitidos hacia el mundo exterior. Ellos, igual que él y su nave, no contribuyen nada más que a la oscuridad que percibe un observador lejano. En un tiempo corto y firmemente determinado, las señales y el viajero desaparecen en la *singularidad* central, el punto de colapso.»

JOHN ARCHIBALD WHEELER (Jacksonville, Florida, 1911). Obtuvo su doctorado en 1933 por la Universidad Johns Hopkins. Tras un breve periodo en la Universidad de Carolina del Norte, pasó a la de Princeton, donde ha transcurrido la mayor parte de su carrera, salvo una década en la Universidad de Texas, Austin. Sus contribuciones científicas se extienden por la física nuclear y de altas energías y la relatividad general.

67. ¿Controles en la investigación científica?
Moléculas de ADN recombinante



La cuestión de si es lícito imponer controles en la práctica de la investigación científica tiene una larga historia, pero ha sido en las últimas décadas cuando ha adquirido especial relevancia, de la mano de los desarrollos producidos en el dominio de las ciencias biomédicas, en particular, de la biología molecular.

Durante los años sesenta y principios de los setenta, los rápidos avances que se produjeron en la genética molecular, especialmente el desarrollo de las técnicas que permitían aislar y unir segmentos de ADN, lo que hacía posible construir moléculas de ADN recombinante *in vitro*, generaron especulaciones y debates acerca de las implicaciones de la tecnología genética en los seres humanos (fue por entonces —en 1965— cuando Ró-Uin Hotchkiss acuñó el término *ingeniería genética*).

Se da la circunstancia de que a finales de los sesenta y comienzos de los setenta, la perspectiva de una aniquilación nuclear, al igual que la des-

trucción que la guerra con Estados Unidos acarrea a Vietnam, estaba en la mente de todos, y que los problemas medioambientales afloraban ya con intensidad. La organización «Science for People», en Boston, fue especialmente activa en advertir contra el posible abuso de la tecnología genética. En noviembre de 1969, tres científicos de Harvard que eran miembros de esa organización utilizaron la ocasión del aislamiento de uno de los genes de la bacteria *Escherichia coli*, ocupante habitual e inocuo de nuestro colon, para advertir de los peligros de la mala utilización de la genética (se temía que pudiera producir accidentalmente una variedad patógena con resultados epidémicos). Salvador Luria escribió en términos similares en un artículo publicado en *Nation* (1969). James Watson advirtió de los peligros de clonar humanos en *Atlantic* (1971). «Este es un asunto demasiado importante», señalaba Watson «como para dejarlo únicamente en las manos de las comunidades médica y científica».

Como es natural, semejante posición, no era aceptada por todos. Dos importantes investigadores biomédicos, Daniel Nathans, de Johns Hopkins, y Sherman Weissman, de Yale, cuestionaron «si un debate abierto no podría conducir a una restricción no deseada en la tradicional libertad de investigación científica».

El presidente de la Academia Nacional de Ciencias, Philip Handler, se inclinó por mantener el debate dentro de la comunidad científica, pidiendo a Paul Berg, director del Departamento de Bioquímica de la Medical School de la Universidad de Stanford, que estableciese un comité para examinar el problema y proponer acciones a corto y largo plazo. Berg cumplió con el cometido, reuniendo en abril de 1974 a un grupo de diez destacados biólogos moleculares y bioquímicos. El producto de la reunión fue una carta publicada en julio de 1974 en los *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *Science* y *Nature*. «En una iniciativa sin precedentes», se comentaba en *Nature* («NAS [National Academy of Sciences] ban on plasmid engineering», *Nature* 250, 175 [1974]), «la Academia Nacional de Ciencias ha solicitado que se establezca una moratoria mundial voluntaria en un área de la investigación científica debido a riesgos potenciales e impredecibles para la salud humana».

Un cuarto de siglo después, ya despidiéndonos de este segundo milenio, la cuestión de los peligros potenciales, o, simplemente, abusos (por mucho que esta palabra sea profundamente ambigua), de los conocimientos y técnicas desarrollados en el mundo biomédico, ha adquirido todavía mayor relevancia, de la mano de los avances llevados a cabo en el dominio de la clonación animal. Por ello es importante leer y reflexionar sobre el contenido de la nota producida por el comité presidido por Paul Berg.

«Potential biohazards of recombinant DNA molecules» («Peligros potenciales en moléculas de ADN recombinante»), *Science* (1974); Paul Berg, David Baltimore, Herbert W. Boyer, Stanley N. Cohen, Ronald W. Davis, David S. Hogness, Daniel Nathans, Richard Roblin, James D. Watson, Sherman Weissman y Norton D. Zinder

«Avances recientes en técnicas para el aislamiento y unión de segmentos de ADN permiten ahora construir *in vitro* moléculas de ADN recombinante biológicamente activas...

Varios grupos de científicos están planeando en la actualidad utilizar esta tecnología para crear formas de ADN recombinante a partir de varias fuentes virales, animales y bacteriales. Aunque es posible que estos experimentos faciliten la solución de importantes problemas biológicos teóricos y prácticos, también darán como resultado la creación de nuevos tipos de elementos de ADN infecciosos, cuyas propiedades biológicas no se pueden predecir completamente de antemano.

Existe seria preocupación de que algunas de estas moléculas artificiales de ADN recombinante puedan ser biológicamente peligrosas. Un peligro potencial en experimentos que se están llevando a cabo en la actualidad surge de la necesidad de utilizar una bacteria corno, *coli* para clonar las moléculas de ADN recombinante y aumentar su número. Es tirpes de *E. coli* residen habitualmente en el aparato intestinal humano y son capaces de intercambiar información genética con otros tipos de bacterias, algunos de los cuales son patógenos para el hombre. Por consiguiente, nuevos elementos de ADN introducidos *en E. coli* pueden llegar a diseminarse de manera extensa en poblaciones humanas, bacteriales, vegetales o animales, con efectos impredecibles.

Científicos que asistían a la Conferencia de Investigación Gordon sobre ácidos nucleicos de 1973 manifestaron su preocupación con estas posibilidades que están surgiendo, solicitando que la Academia Nacional de Ciencias se ocupase de estos asuntos. Los abajo firmantes, miembros de un comité, actuando en este tema en representación y con el apoyo de la Asamblea de Ciencias de la Vida del National Research Council, proponen las siguientes recomendaciones:

Primero, y más importante, que hasta que no se hayan evaluado mejor los peligros potenciales de tales moléculas de ADN recombinante, los científicos de todos los países se unan a los miembros de este comité para detener los siguientes tipos de experimentos.

Tipo 1: Construcción de nuevos plasmidios [pequeños anillos de ADN que se utilizan en el empalme de genes] bacteriales, que se reproducen

can de manera autónoma y que puedan conducir a la introducción de determinantes genéticos para resistencia a antibióticos o la formación de toxinas bacteriales, en estirpes de bacterias que no poseen actualmente estos determinantes; o, construcción de nuevos plasmidios que contengan combinaciones que sean resistentes a antibióticos clínicamente útiles, salvo que ya existan en la naturaleza plasmidios que contengan tales combinaciones de determinantes resistentes a los antibióticos.

Tipo 2: Que se unan, parcial o totalmente, ADN de virus oncogénicos, o de otro tipo, a elementos de ADN que se reproduzcan de manera autónoma... Tales moléculas de ADN recombinante podrían diseminarse más fácilmente a poblaciones bacteriales en seres humanos, al igual que en otras especies, aumentando acaso de esta manera la incidencia del cáncer o de otras enfermedades.

Segundo, deberían considerarse cuidadosamente los planes de unir fragmentos de ADN de animales a plasmidios bacteriales o bacteriófagos, a la luz del hecho de que muchos tipos de células de ADN de animales contienen secuencias comunes a virus tumorales de ARN...

Tercero, se ha requerido al director de los Institutos Nacionales de la Salud que considere inmediatamente establecer un comité asesor encargado de (i) supervisar un programa experimental encargado de evaluar los peligros biológicos y ecológicos potenciales de los anteriores tipos de moléculas de ADN recombinante; (ii) desarrollar procedimientos que minimicen la difusión de tales moléculas dentro de poblaciones humanas o de otro tipo; y (iii) desarrollar líneas directrices para que sean seguidas por los investigadores que trabajan con moléculas de ADN recombinante potencialmente peligrosas.

Cuarto, se debería celebrar a principios del año próximo una reunión internacional de científicos implicados procedentes de todas partes del mundo, para reparar los progresos científicos en esta área y discutir, además, procedimientos apropiados para tratar con los peligros biológicos potenciales de las moléculas de ADN recombinante.

Las anteriores recomendaciones se efectúan sabiendo (i) que nuestra preocupación se basa en juicios de riesgos potenciales, no de riesgos demostrados, ya que existen pocos datos experimentales disponibles sobre los peligros de tales moléculas de ADN; y (ii) que la adhesión a nuestras principales recomendaciones supondrá posponer o posiblemente abandonar ciertos tipos de experimentos científicamente interesantes. Más aún, somos conscientes de la existencia de muchas dificultades teóricas y prácticas en la evaluación de los peligros humanos de tales moléculas de ADN recombinante. Sin embargo, nuestra preocupación por las posibles consecuencias desafortunadas de la aplicación indiscriminada de estas técnicas, nos hace urgir a todos los científicos que trabajan en esta área a que se unan a nosotros en aceptar no realizar experimentos de los *tipos 1 y 2* hasta que se hayan realizado intentos de evaluar los peligros y alcanzado alguna resolución sobre las principales cuestiones.»

La propuesta de que se celebrase una conferencia internacional para pasar revista a los progresos científicos «en esta área» no fue desatendida. La reunión en cuestión se celebró en el Asilomar Conference Center de Pacific Grove, California, en febrero de 1975. Participaron 150 científicos.

David Baltimore, del Centro de Investigación del Cáncer del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) y que unos meses más tarde sería galardonado con el premio Nobel de Medicina, abrió la conferencia. Su intervención dejó claro que lo que se pretendía analizar eran únicamente los riesgos asociados a la investigación genética y las medidas de seguridad que se podían introducir. Específicamente, descartaba como cuestiones «periféricas a esta reunión»: «La utilización de esta tecnología en la terapia génica o ingeniería genética, que nos conduce a cuestiones como lo que está bien y lo que está mal, complicadas cuestiones de motivación política, que no creo sea este el momento adecuado [para discutir las].»

No todo el mundo estaba de acuerdo con semejante planteamiento. Nueve miembros del Grupo de Ingeniería Genética de la organización «Science for People», que no formaban parte de los invitados a la conferencia, hicieron circular una carta entre los participantes. En ella criticaban la estructura de la conferencia y pedían una participación amplia del público en la formulación de políticas de ingeniería genética: «Vemos en la estructura de esta conferencia que aquí solo se encuentra una élite científica intentando determinar la dirección que debe tomar esta regulación ... No creemos que la comunidad formada por los biólogos moleculares, que se encuentra involucrada activamente en el desarrollo de estas técnicas, sea capaz por sí sola de regular sabiamente este desarrollo. Es como pedir a la industria del tabaco que limite la producción de cigarrillos.»

La conclusión de la conferencia fue la de recomendar que se levantara la moratoria parcial impuesta en julio, reemplazándola por unas guías para la investigación en ingeniería genética, muchas de las cuales eran bastante estrictas. En el informe final publicado se reconocía la existencia de grandes áreas ignoradas con respecto al conocimiento del comportamiento de organismos genéticamente modificados y sus interacciones con el medio ambiente. Pero, en lugar de esperar las respuestas correspondientes, se mantenía que los riesgos podían compensarse con precauciones adecuadas en el aislamiento físico y biológico, y que, bajo estas condiciones, la mayor parte de las investigaciones podían continuar. De esta manera, el problema de la ingeniería genética fue reducido a términos que lo hacían susceptible de una solución tecnológica. Se consideró, por tanto, que se trataba de un asunto de salud pública, y no una cuestión pertinente a la ética o a la moral.

De todas maneras, es importante recalcar que estas iniciativas tomadas por los biólogos moleculares en la década de los años setenta es un hecho muy poco frecuente en la historia de la ciencia. No le faltaba algo de razón, aunque no se pare a considerar las diferencias que existen entre las actividades que menciona, al zoólogo e inmunólogo británico Peter Medewar cuando argumentaba en uno de sus libros (*La amenaza y la gloria*) que: «Ningún literato ha hecho semejante cosa. Por el contrario, la mera sugerencia de que un autor no debería escribir como le venga en gana, sin importar los agravios que inflija o los daños que cause, es recibida con las exclamaciones de alarma y advertencias de que semejante acto causaría daños irreparables al espíritu humano y sofocaría para siempre ese espíritu creador.»

68-69. La intuición del caos y el efecto mariposa: Poincaré y Lorenz



El siglo XX ha contemplado, como hemos ido viendo ya a lo largo de este libro, la aparición de un gran número de profundas ideas científicas y hechos naturales. La relatividad, la física de los cuantos, el descubrimiento de la estructura de la molécula del ADN, figuran entre las más conocidas. Pero hay otras. Como la ciencia del caos, que alguien ha denominado «la última nueva ciencia de nuestro siglo».

Dos científicos brillan con luz particularmente intensa cuando hay que referirse al caos (que se puede definir —ver más adelante— como una extrema sensibilidad a las condiciones iniciales, que hace que cambios muy pequeños en éstas produzcan desviaciones enormes en las trayectorias subsiguientes; lo que no supone que no se puedan describir mediante ecuaciones matemáticas): Henri Poincaré y Edward Norton Lorenz. Al primero se le puede asignar, como veremos, la «intuición de la existencia del caos», mientras que el segundo avanzó decisivamente en su caracte-

rización matemática rigurosa, en concreto con un artículo publicado en 1963 («Deterministic nonperiodic flow» [Flujo determinístico no periódico], *Journal of the Atmospheric Sciences* 20, 130-141). Poincaré no buscaba el caos; pretendía comprender las órbitas de los cuerpos celestes y se encontró con el caos. Para él resultó ser un fenómeno que hacía demasiado complejas las ecuaciones del movimiento de tres cuerpos que interaccionan gravitacionalmente entre sí como para poder resolverlas, en lugar de ser el sujeto principal de un futuro campo de investigación. Lorenz tampoco lo buscaba, pero fue lo suficientemente perspicaz para reconocerlo cuando lo encontró. Vio algo más que azar en el tiempo; vio orden *disfrazado* de casualidad. Para completar semejante tarea, el meteorólogo teórico que era Lorenz necesitó del matemático que también había en él.

En su artículo de 1963, Lorenz condensaba sus ideas sobre el caos atmosférico, utilizando para ello una descripción simplificada del problema de la convección térmica. Un artículo, el suyo por cierto, en el que pocos científicos que no fueran meteorólogos repararon. Una década más tarde la situación sena otra. Hoy el caos no se encuentra sólo en la atmósfera; aparece en prácticamente toda la naturaleza. En la física se encuentran movimientos caóticos en la magnetización del helio superfluido, en los láseres y plasmas o en la denominada biestabilidad acústico-óptica. En ingeniería, en numerosos fenómenos aerodinámicos. En biología, en algunas oscilaciones (arritmias, por ejemplo) cardíacas, al igual que en la dinámica del funcionamiento cerebral. En química, en reacciones cinéticas. En ecología, en modelos que estudian las relaciones entre depredador-presa. Tampoco se libra del caos la economía, donde se está estudiando su posible efecto en macromodelos, así como en el crecimiento económico clásico.

Y es que el caos constituye una fuente inmensa de nuevas aproximaciones a la naturaleza, una naturaleza que hasta no hace mucho estaba dominada, en su interpretación teórica, por la linealidad. El caos ha abierto, más que ninguna otra disciplina, la puerta a la no linealidad de la naturaleza, y ello a pesar de que no todo lo no lineal es caótico (aunque sí todo lo caótico es no lineal).

En las páginas que siguen se reproducen, en primer lugar, los párrafos en los que Poincaré se refirió a lo que, como sabemos ya, es la esencia del caos. Sigue a éstos, la famosa imagen del efecto mariposa desarrollada por Lorenz.

«Una causa muy pequeña, que se nos escapa, determina un efecto considerable que no podemos ignorar; decimos entonces que este efec-

to es debido al azar. Si conociésemos las leyes de la naturaleza y la situación del Universo en el instante inicial, podríamos predecir con exactitud la situación de este Universo en un instante ulterior. Pero aun cuando las leyes naturales no tuvieran más secretos para nosotros, no podríamos conocer la situación inicial más que *aproximadamente*. Si esto nos permite prever la situación ulterior *con la misma aproximación*, que es todo lo que necesitamos, decimos entonces que el fenómeno ha sido previsto, que está regido por leyes. Pero no acaece siempre así; puede suceder que pequeñas diferencias en las condiciones iniciales las engendren muy grandes en los fenómenos finales; un pequeño error sobre los primeros produciría un error enorme sobre los últimos. La predicción entonces se vuelve imposible y nos encontramos con un fenómeno fortuito.»

Poincaré se había dado cuenta de que si se cambia ligeramente el estado inicial de un sistema, la nueva evolución temporal puede divergir rápidamente de la evolución original hasta que ambas se hagan totalmente diferentes: es el fenómeno de la *sensibilidad a las condiciones iniciales*. Un fenómeno que no requiere un estado inicial especial (como podría ser un equilibrio inestable), sino que puede tener lugar para una extensa clase de estados iniciales. Es entonces cuando hablamos de *caos*. La predicción del comportamiento futuro de un sistema caótico está, por definición, seriamente limitada aunque el sistema sea determinista.

La predicción del tiempo, el campo de especialización de Lorenz, resulta ser, como ya he señalado, uno de los ámbitos en los que reina el caos (aunque no completamente: dentro de nuestra caótica atmósfera hay ciertos elementos meteorológicos, como los vientos a grandes altitudes en la regiones ecuatoriales, que pueden ser predichos con bastante precisión, y no sólo a dos semanas vista, sino a dos meses o incluso a dos años). Poincaré también se dio cuenta de ello:

«¿Por qué los meteorólogos tienen tantas dificultades para predecir el tiempo con alguna exactitud? ¿Por qué las lluvias y las tempestades nos parecen frutos del azar, hasta tal punto que mucha gente encuentra lógico rogar para que llueva o para que haga buen tiempo, mientras juzgarían ridículo pedir un eclipse mediante una oración? Vemos que generalmente las grandes perturbaciones se producen en las regiones en que la atmósfera es inestable. Los meteorólogos ven que este equilibrio no es constante, que se va a producir un ciclón en algu-

na parte; pero dónde, son incapaces de decirlo; un décimo de segundo más o menos en un punto cualquiera y el ciclón estalla aquí y no allá y extiende sus estragos sobre comarcas que hubiera evitado de otro modo. Si se hubiera conocido ese décimo de grado, se hubiera podido prever, pero las observaciones no eran lo bastante seguras ni precisas, por esto es por lo que todo parece debido a la intervención del azar. Aquí encontramos el mismo contraste entre una causa mínima, inapreciable para el observador, y los efectos considerables que algunas veces se convierten en espantosos desastres.»

La poderosa y subyugadora imaginación de Poincaré se ha visto en este punto superada por la de Lorenz, que introdujo el denominado «efecto mariposa» durante una charla que pronunció en una sesión de la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia, que tuvo lugar en Washington D. C. el 29 de diciembre de 1972. Al plantearse el nada retórico problema de si el batido de las alas de una mariposa en Brasil producirá al cabo de algún tiempo un tornado en Texas, tal vez también, y en última instancia, un cambio completo del estado de la atmósfera terrestre, Lorenz hacía patente la importancia práctica del caos, e introducía una imagen que ha calado profundamente en la sociedad.

E. N. Lorenz

The Essence of Chaos (1993) (La esencia del caos)

«Predicibilidad. El aleteo de una mariposa en Brasil, ¿originó un tornado en Texas?»

Para no parecer frívolo aunque sólo sea por plantear la pregunta que sirve de título, y menos aún por sugerir que podría tener respuesta afirmativa, permítanme colocarla en una adecuada perspectiva ofreciendo dos proposiciones.

1. Si un único aleteo de una mariposa puede contribuir a generar un tornado, del mismo modo pueden serlo los aleteos anteriores y posteriores, como también pueden serlo los aleteos de otros millones de

mariposas, por no mencionar las actividades de innumerables y más poderosas criaturas, incluyendo a las de nuestra propia especie.

2. Si el aleteo de una mariposa puede contribuir a generar un tornado, igualmente puede actuar para prevenirlo.

De forma más general, estoy planteando que al cabo de los años las perturbaciones minúsculas no incrementan ni disminuyen la frecuencia de diversos sucesos meteorológicos como los tornados; lo más que pueden hacer es modificar la secuencia en que se dan esos sucesos. La cuestión que verdaderamente nos interesa es si siquiera pueden llegar a eso: si, por ejemplo, dos situaciones meteorológicas concretas que difieren en tan sólo la influencia inmediata de una sola mariposa pueden, en general y después de tiempo suficiente, evolucionar hacia dos situaciones que difieren en algo tan grande como un tornado. Dicho en lenguaje más técnico: el comportamiento de la atmósfera, ¿es *inestable* respecto a las perturbaciones de pequeña amplitud?

La conexión entre esta pregunta y nuestra capacidad para predecir el tiempo es evidente. Ya que no conocemos exactamente cuántas mariposas hay, ni tampoco dónde se encuentran, ni mucho menos cuántas están aleteando en un determinado instante, no podemos, en el caso de que la respuesta a nuestra pregunta sea afirmativa, predecir con precisión la aparición de tornados con una antelación suficientemente grande. Lo que es más significativo: nuestro fracaso generalizado en la detección de sistemas, aun de un tamaño como el de las tormentas, puede perjudicar nuestra capacidad de predecir el tipo general de tiempo incluso a un plazo corto.

¿Cómo podemos determinar si la atmósfera es inestable? La atmósfera no es un experimento controlado en laboratorio; si la perturbamos y luego observamos lo que ocurre, no sabremos nunca qué habría ocurrido de no haberla perturbado. Cualquier pretensión de que podemos saber lo que habría sucedido tomando como referencia la predicción meteorológica implicaría que la pregunta cuya respuesta buscamos ya se ha respondido negativamente.

El grueso de nuestras conclusiones está basado en la simulación de la atmósfera por ordenador. Las ecuaciones a resolver representan nuestra mejor aproximación a las ecuaciones que rigen realmente la atmósfera mediante ecuaciones que son compatibles con nuestra capacidad informática actual. Generalmente se comparan dos soluciones numéricas. A una se le atribuye la simulación del tiempo meteorológico real, mientras que la otra simula el tiempo meteorológico que habría surgido a partir de unas condiciones iniciales levemente distintas, es decir, el tiempo que habríamos predicho mediante una técnica predictiva perfecta pero con observaciones imperfectas. La diferencia entre soluciones, pues, estimula el error en la predicción. Continuamente se realizan nuevas simulaciones conforme vamos disponiendo de ordenadores más potentes y conociendo mejor la dinámica atmosférica.

Aun cuando no podamos pretender haber probado que la atmósfe-

ra es inestable, la evidencia de que sí lo es resulta abrumadora. Los resultados más significativos son los siguientes:

1. Los errores pequeños en la estructura más gruesa de la pauta meteorológica (aquellos rasgos que son fácilmente resueltos mediante las redes convencionales de observación) tienden a duplicarse en unos tres días. Cuando los errores se hacen mayores, la tasa de crecimiento descende. Sólo con esta limitación podríamos ampliar el rango de predicción aceptable de tres en tres días cada vez que acortáramos el error observacional a la mitad, y tendríamos la esperanza de llegar a hacer buenas predicciones meteorológicas a varias semanas vista.

2. Los errores pequeños en la estructura más fina, por ejemplo las posiciones de nubes individuales, tienden a crecer mucho más rápidamente, duplicándose en cuestión de horas o incluso menos. Esta sola limitación no reduciría seriamente nuestras esperanzas de predicción ampliada, habida cuenta que comúnmente no predecimos nada sobre la estructura más fina.

3. Los errores en la estructura más fina, una vez que han adquirido un tamaño apreciable, tienden a inducir a errores en la estructura más gruesa. Este resultado, menos firmemente establecido que los dos anteriores, implica que al cabo de un día más o menos habrá errores apreciables en la estructura más gruesa que, a partir de ahí, crecerán como si hubieran estado inicialmente presentes. Reducir el error observacional de la estructura más fina (una tarea formidable), ampliaría el rango de la predicción aceptable, aun de la estructura más gruesa, en cosa de horas o incluso menos. Las esperanzas de predecir a dos semanas vista o más se ven, así, grandemente disminuidas.

4. Ciertas magnitudes específicas, como las temperaturas medias semanales y la precipitación total semanal, pueden ser predecibles a un plazo al que no pueden predecirse pautas meteorológicas completas.

Dejando a un lado las implicaciones que puede tener cualquier estudio teórico, la prueba concluyente de que pueden hacerse buenas predicciones cotidianas a un plazo de dos semanas o más, vendría dada por cualquier demostración válida de que cualquier esquema predictor concreto rinde generalmente buenos resultados a ese plazo. Por lo que sabemos, no se ha ofrecido hasta este momento semejante demostración. Por supuesto que hasta las meras conjeturas serán correctas un cierto porcentaje de veces.

Volviendo ahora a la cuestión tal como se expuso originalmente, señalo algunos puntos adicionales que todavía no se han considerado. En primer lugar, la influencia de una única mariposa no es solamente un detalle fino; es que está confinada en un pequeño volumen. Algunos de los métodos numéricos que parecen bien adaptados para examinar la intensificación de errores no son adecuados para estudiar la dispersión de errores de regiones restringidas a regiones no restringidas. Una hipótesis, no confirmada, es que la influencia del aleteo de una mariposa se extenderá en aire turbulento y no en aire calmo.

Un segundo punto es que Brasil y Texas se encuentran en hemisferios opuestos. Las propiedades dinámicas de la atmósfera tropical difieren considerablemente de las de la atmósfera en latitudes templadas y polares. Es casi como si la atmósfera tropical fuera un fluido diferente. Parece completamente posible que un error pudiera ser capaz de expandirse muchos miles de kilómetros en las latitudes templadas de un mismo hemisferio y que fuera incapaz de cruzar el ecuador.

Debemos por tanto dejar sin respuesta nuestra pregunta original durante unos pocos años más, incluso aunque hagamos profesión de fe en la inestabilidad de la atmósfera. Mientras tanto, los errores actuales en la predicción meteorológica no pueden achacarse por entero, ni en primer lugar, a la estructura más fina de las pautas meteorológicas. Principalmente proceden de nuestra incapacidad de observar con suficiente detalle incluso la estructura más gruesa, de nuestro conocimiento relativamente incompleto de los principios físicos vigentes y de las inevitables aproximaciones que deben introducirse en la formulación de estos principios como procedimientos que pueden llevar a cabo el cerebro humano o el ordenador. Estos defectos no pueden eliminarse por completo pero sí pueden reducirse grandemente mediante un sistema de observación ampliado y mediante la investigación exhaustiva. El Programa de Investigación Atmosférico Global [del que se ocupaba la sesión en la que Lorenz dio esta charla] está dedicado al propósito de hacer, no predicciones exactas sino las mejores predicciones que la atmósfera nos permita.»

HENRI POINCARÉ (Nancy, 1854- París, 1912). Uno de los matemáticos más importantes del siglo XIX y comienzos del XX. Se ha llegado a decir que el XIX comenzó bajo la sombra de un gigante, Carl Friedrich Gauss, y terminó con el dominio de un genio de magnitud similar, Poincaré. En 1873 entró en la École Polytechnique, pasando dos años después a la École des Mines, a la que solían ir los licenciados más distinguidos de la École Polytechnique (se graduó en ella en 1879). Tras obtener el título de doctor en Ciencias fue designado (1879) encargado de curso de Análisis en la Facultad de Ciencias de Caen. Dos años después fue nombrado *maître de conférences* de Análisis en la Facultad de París, ciudad en la que pasaría el resto de su vida. En 1886 sucedió a Gabriel Lippmann en la cátedra de Física Matemática que detentó hasta que en 1896, tras la muerte de Francois Félix Tisserand, que ocupaba la cátedra de Astronomía Matemática, su Facultad le pidió que pasase a desempeñar esta cátedra. Sus contribuciones se extendieron a numerosos campos, destacando especialmente en la teoría de funciones, topología algebraica, teoría de las ecuaciones diferenciales y en mecánica celeste.

EDWARD NORTON LORENZ (West Harford, Connecticut, 1917). Se graduó en el Dartmouth College en 1938, obteniendo dos años más tarde un *master* en la Universidad de Harvard, donde permaneció el curso 1941-1942, colaborando en tareas docentes matemáticas. La segunda guerra mundial interrumpió, sin embargo, su relación con Harvard. Durante la guerra sirvió en el servicio de predicción del tiempo de las Fuerzas Aéreas estadounidenses. En 1946, una vez licenciado del Ejército, ingresó como estudiante de doctorado en el Departamento de Meteorología del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), donde se doctoró en 1948. Comenzó entonces su carrera académica, siempre vinculado al MIT: en 1955 fue nombrado *Assistant professor* de meteorología, y en 1962 catedrático.



Sabemos que hace 65 millones de años se produjo la extinción en masa de un número enorme de especies. Los rastros fósiles de semejante discontinuidad biológica son tan evidentes que los geólogos la utilizaron desde hace mucho para definir la frontera entre el Cretácico, el último período del Mesozoico, y el Terciario, o primer período del Cenozoico. No se trata de la única extinción en masa que ha conocido nuestro planeta (se sabe de al menos otras cuatro, la mayor en el límite del Pérmico-Triásico, hace 250 millones de años), pero sí que fue relevante para nuestra especie, ya que entre los supervivientes de aquel cataclismo se encontraron, junto a reptiles del tipo de los cocodrilos o las tortugas, los —entonces pequeños— mamíferos, que con el paso del tiempo terminarían produciendo, merced a procesos evolutivos, especies como la de los humanos. Somos, pues, hijos de aquel lejano Apocalipsis que puso término al Mesozoico. Lo mismo que los dinosaurios fueron sus víctimas más conocidas.

Conocida la evidencia paleontológica, faltaba por saber la causa. Y ésta ha llegado en los últimos veinte años. Gracias a las investigaciones de geólogos, sobre todo, pero también de un número menor de físicos y químicos nucleares, se fue abriendo paso la hipótesis de que la quinta gran extinción se debió al impacto de un asteroide o de un cometa (todavía no se sabe con certeza) de unos diez kilómetros de diámetro, que chocó con la Tierra a una velocidad de aproximadamente treinta kilómetros por segundo, produciendo una energía destructora equivalente a la que librarían cien millones de bombas de hidrógeno.

En el establecimiento y la confirmación de tal hipótesis fue muy importante la detección de iridio en magnitudes anómalas en la capa de estratos que marca el límite entre el Cretácico y el Terciario (se denomina «límite KT»; la letra K proviene del término alemán, *Kreide* [creta]); de hecho, fue este resultado el que llevó a que Luis Alvarez, premio Nobel de Física, su hijo, y promotor principal de la idea, Walter Alvarez, Frank Asaro y Helen Michel publicasen en junio de 1980 un famoso artículo en la revista *Science* —«Causa extraterrestre para la extinción del Cretácico-Terciario. Resultados experimentales e interpretación teórica»— en el que introdujeron la hipótesis del impacto de un cuerpo extraterrestre.

Establecida la causa más probable, quedaba la que podría considerarse confirmación definitiva: encontrar los restos del cráter que, inevitablemente, se debió producir en aquel choque dantesco. La primera pregunta que había que plantearse era si el impacto tuvo lugar en un continente o en un océano. Finalmente, se halló —mejor dicho, su huella (tras 65 millones de años, el cráter, por supuesto, se ha rellenado)— en México, en la península de Yucatán, en Puerto Chicxulub, en la costa septentrional, cerca de Mérida (el artículo que anunciaba el descubrimiento se publicó en 1991).

Al margen de otras consideraciones, la confirmación de que la Tierra sufrió en el pasado al menos un gran impacto (es dudoso que haya sido el único), y que éste tuvo consecuencias muy importantes para la vida que se desarrollaba entonces en ella, resucita — ¡una vez más! — la cuestión de si no será nuestra adhesión a las tesis uniformitarias de Lyell (con las que ya nos hemos encontrado) demasiado estricta; la pregunta, en definitiva, de si no desempeñan también un notable papel en la historia de nuestro planeta acontecimientos catastróficos. La lista de cráteres de impacto conocidos, para los que se encuentran restos en el registro pétreo, aumenta en dos o tres cada año, planteando el problema de cuántos objetos extraterrestres comparables o superiores al de Yucatán nos han llegado, y qué efectos han producido. Más aún, ¿es que no hemos visto con nuestros propios ojos (a través de telescopios), hace bien poco, en julio de 1994, el choque espectacular de fragmentos del cometa Shoemaker-Levy 9 con la superficie de Júpiter?

Hay episodios de la historia de la ciencia que atraen nuestra atención, que incluso nos conmueven, porque nos damos cuenta de que tienen que ver con nosotros de una manera profunda, que afectan a la propia esencia de la humanidad. La hipótesis y posterior confirmación del impacto extraterrestre que se describe a continuación conmueve, atrae irresistiblemente, porque nos muestra lo fortuito de nuestra existencia como especie, porque revela con dramática transparencia el frágil equilibrio sobre el que se basa esa existencia: ¿Será nuestra especie víctima en el futuro del impacto de otro gran cuerpo extraterrestre, al igual que sucedió con los dinosaurios?

A continuación, reproduzco fragmentos del artículo en el que Luis y Walter Alvarez, Frank Asaro y Helen Michel propusieron la hipótesis del impacto de un asteroide, junto a otros fragmentos procedentes de un libro en el que Walter Alvarez ha explicado magistralmente la historia de este sorprendente episodio de la ciencia contemporánea.

«Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. Experimental results and theoretical interpretation» (1980) («Causa extraterrestre para la extinción del Cretácico-Terciario. Resultados experimentales e interpretación teórica»), L. W. Alvarez, W. Alvarez, F. Asaro y H. V. Michel

«En el período de 570 millones de años para el que existen abundantes restos fósiles, se han producido cinco grandes crisis biológicas, durante las cuales desaparecieron muchos grupos de organismos. Se utiliza la más reciente de las grandes extinciones para definir la frontera entre los períodos Cretácico y Terciario, hace aproximadamente 65 millones de años. Fue entonces cuando desaparecieron los reptiles marinos y los voladores, al igual que ambos órdenes de dinosaurios, produciéndose extinciones entre los invertebrados marinos en diversos niveles taxonómicos. Se produjeron extinciones dramáticas entre los animales microscópicos y las plantas flotadoras; tanto los foraminíferos planctónicos calcáreos como el nanoplancton calcáreo fueron casi exterminados, sobreviviendo a la crisis únicamente unas pocas especies. Por otra parte, algunos grupos se vieron poco afectados, entre ellos las plantas terrestres, cocodrilos, serpientes, mamíferos y muchas clases de invertebrados. Russell concluye que alrededor de la mitad de los géneros que vivían en aquel período perecieron durante el suceso de la extinción.

Se han propuesto muchas hipótesis para explicar las extinciones del Cretácico-Terciario y dos reuniones recientes no dieron señales de que se pueda llegar a un consenso. Entre las causas sugeridas se incluyen cambios graduales o rápidos en condiciones oceanográficas, atmosféricas o climáticas, debidas a coincidencias aleatorias o cíclicas de factores causales, una inversión magnética, una supernova cercana y la inundación de la superficie oceánica producida por agua fresca de un lago ártico...

En este artículo presentamos evidencia física directa en favor de un suceso inusual que habría tenido lugar exactamente en la época de las extinciones en el dominio planctónico. Ninguna de las hipótesis actuales da cuenta adecuadamente de esta evidencia, pero hemos desarrollado una hipótesis que parece ofrecer una explicación satisfactoria para casi toda la evidencia paleontológica y física disponible.

Identificación de metales de platino extraterrestre en sedimentos marinos profundos.

Este estudio comenzó cuando nos dimos cuenta de que los elementos del grupo del platino (platino, iridio, osmio y rodio) son mucho menos abundantes en la corteza y manto superior terrestre que en [algunos] meteoritos y material estándar del sistema solar...

Pettersson y Ritschi y Doldschmidt sugirieron que las bajas concentraciones de elementos del grupo del platino en rocas sedimentarias podrían proceder en su mayoría... [del] paso de meteoritos a través de la atmósfera. Barker y Anders demostraron que existía una correlación entre el ritmo de sedimentación y la concentración de iridio, confirmando anteriores sugerencias. Subsiguientemente, el método fue utilizado por Ganapathy, Brownlee y Hodge para demostrar un origen extraterrestre para esférulas de silicatos en sedimentos marinos profundos. Sarna-Wojcicki y otros sugirieron que la acumulación de polvo meteorítico en capas terrestres puede aumentar la abundancia de iridio lo suficiente como para permitirnos usarla como herramienta de datación. Recientemente, Crocket y Kou encontraron abundancias de iridio en sedimentos marinos profundos y sintetizaron otros trabajos previos.

Consideraciones de este tipo nos impulsaron a medir la concentración de iridio en la capa de arcilla de un centímetro de espesor que marca la frontera KT en algunas secciones de los Apeninos de Umbría, con la esperanza de determinar la extensión de tiempo que representa esa capa...

Un flujo repentino de material extraterrestre.

... A continuación, consideramos si la anomalía de Ir [iridio] es debida a un flujo anormal de material extraterrestre en el momento de la extinción, o si se formó por la normal, lenta, acumulación de material

meteorítico, al que siguió la concentración en las rocas fronterizas mediante algún mecanismo identificable.

Existe en las observaciones evidencia de primera mano en favor de que el exceso de iridio coincidió con una de las extinciones; que las extinciones fueron sucesos extraordinarios, que pueden muy bien indicar causas extraordinarias; que las extinciones fueron claramente un fenómeno que se extendió por todo el planeta; y que ahora se conoce la anomalía de iridio por datos en dos áreas diferentes en Europa occidental y en Nueva Zelanda. En una sección posterior demostraremos, además, que el impacto de un asteroide de 10 km..., un suceso que probablemente se produce con la misma frecuencia que las grandes extinciones, puede haber ocasionado los efectos físicos y biológicos observados...

La hipótesis del impacto de un asteroide.

... En resumen, nuestra hipótesis sugiere que un asteroide golpeó la Tierra, formó un cráter al impactar y parte del material en forma de polvo que salió despedido del cráter alcanzó la estratosfera y se difundió alrededor del globo. Este polvo impidió que la luz del Sol alcanzara la superficie durante un período de varios años, hasta que el polvo se depositó en el suelo. La pérdida de la luz solar suprimió la fotosíntesis, y como resultado la mayoría de las cadenas alimenticias se colapsaron produciéndose la extinción...

Implicaciones.

Entre las muchas implicaciones de la hipótesis del impacto del asteroide, si ésta es correcta, destacan dos. En primer lugar, si las extinciones KT fueron debidas a un suceso de impacto, lo mismo podría ser cierto también de las grandes extinciones anteriores. Se han producido cinco extinciones de este tipo desde el final del Precámbrico, hace 750 millones de años, lo que se ajusta bien con el intervalo probable de alrededor de 100 millones de años entre colisiones con objetos de 10 kilómetros de diámetro...

En segundo lugar, nos gustaría encontrar el cráter producido por el objeto que impactó. Solamente se conocen tres cráteres de 10 km o más de diámetro. Dos de éstos (Sudbury y Vredefort) son de la era Precámbrica. Del otro, el cráter Popigay en Siberia, sólo se conoce que su edad estratográfica lo sitúa entre finales del Cretácico al Cuaternario, mientras que la que se deduce de medidas con argón-potasio es de 28,8 millones de años. Por tanto, el cráter Popigay probablemente es demasiado joven, y siendo de 10 km probablemente también demasiado pequeño, como para corresponder al lugar del impacto KT. Existe una probabilidad de 2/3 de que el objeto cayese en el océano. Como el tamaño probable del objeto, 10 km, es el doble de la profundidad oceánica típica, se produciría un cráter en el fondo del océano, pudiéndose expulsar

roca pulverizada. En este caso, no obstante, es poco probable que podamos encontrar el cráter ya que la información bariométrica no es suficientemente detallada, y porque una parte sustancial del océano [de la corteza oceánica] Preterciario ha desaparecido por subducción [consustancial a la tectónica de placas].»

T. Rex and the Cráter of Doom (1997) *(Tyrannosaurus rex y el cráter de la muerte),* W. Alvarez

«A lo largo de la década de 1980 se fueron descubriendo cada vez más evidencias que apoyaban la teoría del impacto para la extinción KT, pero el lugar del impacto seguía oculto hasta la frustración.

En un buen relato de misterio en el que el crimen se oculta de manera casi perfecta, suele haber una pista falsa para confundir a los detectives. En nuestro caso la pista falsa fue la evidencia equívoca... que apuntaba hacia el impacto en el océano. Sin embargo, en un buen misterio existe asimismo un pequeño fallo en el ocultamiento. Al final, el detective descubre el fallo, el resto del engaño se derrumba y el culpable acaba por ser descubierto. Así ocurrió en la búsqueda del cráter. El engaño fue perfecto, pero el fallo fue el tsunami.

Un impacto oceánico gigante habría generado un tsunami verdaderamente enorme, capaz de erosionar el fondo del mar profundo a profundidades que ninguna otra ola alcanzaría nunca. Cuando el tsunami llegara al margen continental se habría convertido en una ola gigantesca, de quizá un kilómetro de altura, que se abalanzaría y rompería cerca de la costa. Los bosques costeros serían destruidos y la arena litoral sería dispersada y se hundiría a profundidades mayores mediante las avalanchas submarinas, gigantescas y fluidificadas, que los geólogos denominan flujos de turbidez. Los flujos de turbidez depositan capas de arena denominadas turbiditas. Si pudiéramos encontrar un afloramiento de sedimentos marinos cerca de la orilla de un océano, con una turbidita en el lugar mismo de la frontera, señalaría que aquel océano era el lugar del impacto.

Pero como sabemos ahora, el impacto no fue en el océano. Fue en la corteza continental de Yucatán, por encima o ligeramente por debajo del nivel del mar, donde no podía haberse generado un tsunami gigantesco en aguas profundas. Si el ocultamiento del crimen hubiera sido perfecto, no habría habido ningún depósito de tsunami en parte alguna, y lo habríamos estado buscando indefinidamente y en vano.

Sin embargo, hubo un pequeño fallo en el ocultamiento. El impac-

to fue en el continente, pero cerca del océano. Fue lo suficientemente cerca como para que, de todos modos, se generara un tsunami en el océano adyacente, quizá debido a que restos del cráter cayeron en agua profunda cercana, o producido por ondas sísmicas o avalanchas submarinas desencadenadas por el impacto. El mecanismo todavía no está claro, pero inmediatamente después de que el cometa impactara en Yucatán, el tsunami se alejó rápidamente del lugar del impacto. Dejó evidencia de su paso en forma de un fondo marino arrancado de cuajo y cubierto por restos sedimentarios: la evidencia que estábamos buscando...

El Brazos es uno de los muchos ríos que fluyen hacia el sur a través de Texas y desembocan en el golfo de México... A principios de la década de 1980 esta área atrajo la atención de Thor Hansen, un paleontólogo de la Universidad de Texas. Thor realizó cuidadosas recogidas de fósiles que demostraban que el lecho arenoso se encontraba exactamente en el límite KT y reconoció que era distinto de los sedimentos marinos de grano situados inmediatamente por debajo y por encima...

Creo que la primera persona que se dio cuenta del posible significado del lecho arenoso del Brazos fue Jan Smit. Jan ha estudiado más límites KT por todo el mundo que ninguna otra persona, y cuando fue por primera vez al río Brazos, a principios de la década de 1980, reconoció que el lecho arenoso era algo insólito. En un artículo que escribí en 1985 con Ton Romein, Jan incluyó este comentario sobre el afloramiento del Brazos: "Esta podría ser la primera evidencia de sedimento provocado por el impacto (¿tsunami?)"...

En 1988 Alan [Hildebrand] había decidido que el lecho del tsunami del río Brazos era la clave para encontrar el cráter. Sabía que el tsunami sólo podía proceder del sur de Texas, porque esta era la dirección hacia el agua profunda hace 65 millones de años, al igual que lo es ahora. Razonó que el lugar del impacto no podía haber sido muy lejos de Texas, porque el golfo de México es un cuerpo de agua cerrado, protegido de cualquier tsunami que venga de muy lejos. Aceptando la opinión predominante de que el impacto fue en la corteza oceánica, Alan centró su atención en el golfo de México y el Caribe.

En una búsqueda tenaz, Alan volvió al río Brazos una y otra vez, intentando extraer todos y cada uno de los indicios oscuros y hasta la última hebra de evidencia del depósito del tsunami, y peinó la bibliografía publicada y los mapas del golfo y del Caribe en busca de cualquier señal de posibles restos del impacto, o de cualquier estructura circular grande que pudiera ser un cráter de impacto. Encontró una serie de características vagamente redondeadas en mapas del fondo del Caribe al norte de Colombia, y se enteró de una pauta circular de anomalías gravitatorias en la costa norte de la península de Yucatán. El candidato de Yucatán era realmente prometedor, aunque estuviera sobre la corteza continental...

Casi no se había publicado nada en la bibliografía sobre la estruc-

tura circular de anomalías gravitatorias en Yucatán que sugiriera un cráter enterrado, y Alan tuvo que hacer un trabajo verdaderamente detectivesco con el fin de encontrar lo poco que había. Al final pudo encontrar la pista de la gente que conocía la estructura de Yucatán, y así fue el primero de los investigadores del KT que conoció a Antonio Camargo y Glen Penfield. Finalmente, en 1991, Hildebrand, Penfield, [D. A.] Kring, [M.] Pilkington, Camargo, [S. B.] Jacobsen y [W. V.] Boynton publicaron un artículo titulado: "Chicxulub cráter: a possible Cretaceous/Tertiary boundary impact cráter on the Yucatán Península, México" [*Geology*W, 867-871].

¡Fue un bombazo! ¡Al fin se había descubierto el cráter de la muerte! La pista había sido el tsunami generado, aunque el impacto fue en la corteza continental. La naturaleza había enterrado el cráter y era completamente invisible desde la superficie, pero el tsunami había esparcido la evidencia del impacto cercano hasta un afloramiento de Texas.»

Luis WALTER ALVAREZ (San Francisco, 1911- Berkeley, 1988). Estudió física en la Universidad de Chicago, donde también se doctoró en 1936, el mismo año que se incorporó a la Universidad de California, campus de Berkeley, de la que llegó a ser catedrático en 1945. Entre sus muy numerosas y variadas aportaciones a la física se encuentran el descubrimiento de la captura de electrones orbitales por el átomo en procesos de desintegración beta, la medición (en colaboración con Félix Bloch) del momento magnético del neutrón, la dirección de la construcción del primer acelerador lineal de protones, completado en Berkeley en 1947 o el desarrollo de la cámara de burbujas de hidrógeno líquido y técnicas automáticas de análisis para detectar partículas elementales, por lo que recibió el premio Nobel de Física en 1968. Más tarde, se interesó por otros problemas; así, radiografió, utilizando muones de rayos cósmicos, la pirámide de Kefrén en Giza, buscando cámaras ocultas, y aplicó técnicas de ondas de choque para estudiar el asesinato de John F. Kennedy.

WALTER ALVAREZ (1940). Se doctoró en la Universidad de Princeton, incorporándose a comienzos de la década de 1970 al Observatorio Geológico Lamont-Doherty, el centro oceanográfico y geológico de la Universidad de Columbia. En 1977 pasó a formar parte del Departamento de Geología y Geofísica de la Universidad de California, en Berkeley, donde ahora es catedrático.

72. ¿Estamos solos en el Universo?: Cari Sagan



Es difícil que una persona no se plantee, en un momento u otro de su vida, la pregunta de si estamos solos en el Universo, si las especies vegetales y animales que pueblan la Tierra constituyen una singularidad en lo que ya sabemos es un inmenso —aunque muy probablemente, no infinito— cosmos. En lo que a mí se refiere, estoy convencido de que existirá vida en —seguramente muchos— otros planetas, que orbiten a la distancia adecuada de estrellas (entiendo por vida la capacidad de reproducirse y metabolizar sustancias, es decir, de alimentarse). Tengo ya más dudas acerca de si existirá o no «vida inteligente», expresión que para mí quiere decir (es, lo sé, una definición demasiado restringida de «inteligencia»), seres vivos que son capaces de desarrollar esquemas conceptuales que les permiten predecir acontecimientos naturales futuros; a la cabeza de este tipo de inteligencia se encuentra, por supuesto, la capacidad de formular leyes científicas. Y tengo más dudas sobre si

existe este tipo de inteligencia porque soy consciente de la, al menos aparente, aleatoriedad que subyace en los procesos evolutivos, y de la extraordinaria complejidad del cerebro humano, o de otras especies animales que poseen también tipos de inteligencia. En vista de semejante complejidad, y a falta de rutas de alguna forma «preestablecidas», «obligadas», que conduzcan a vida inteligente, es problemático no concluir que ese tipo de vida es muy difícil de lograr, a través de las caóticas vías de los procesos evolutivos. Una cosa es que unas reacciones químicas que se producen en ciertos escenarios planetarios (como los que se dan en fases determinadas de la historia de un planeta, o de alguna otra clase de cuerpo cósmico) posean características sinérgicas que aboquen a organismos «vivos», y otra que éstos sean «conscientes» e inteligentes. En cualquier caso, si hubiera que apostar yo lo haría en la dirección de que en algún lugar del Universo, lejano sin duda de la Tierra, se han dado esas circunstancias, produciendo vida inteligente. Además, también es posible que exista algún tipo de sinergia química, que no hemos descubierto todavía, que favorezca la aparición de la clase de inteligencia a la que me estoy refiriendo.

Y no es, en modo alguno, imposible, que si existen seres inteligentes en otros lugares del cosmos, podamos descubrirlos. De hecho, se han dado ya esfuerzos científicos en tal dirección, como el denominado SETI: «Search for Extraterrestrial Intelligence» («Búsqueda de inteligencia extraterrestre»), cuyo establecimiento debe mucho a la publicación, en 1959 (en la revista británica *Nature*), de un artículo de Giuseppe Cocconi y Philip Morrison, que entonces trabajan en la Universidad de Cornell, Estados Unidos, titulado «Searching for interstellar communications» [«Buscando comunicaciones interestelares»]. Asimismo, es obligado mencionar a Frank Drake, también de la Universidad de Cornell, que además de haber llevado a cabo importantes observaciones, propuso una célebre ecuación para determinar el número (N) de civilizaciones inteligentes existentes en una galaxia (la ecuación de Drake es: $N=R \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_j \cdot f_c \cdot L$, donde R representa el ritmo de formación de estrellas, f_p la proporción de estrellas con planetas, n_e el número de planetas por estrella con medio ambientes adecuados para la vida, f_j la fracción de planetas en los que se ha desarrollado vida, f_c la fracción de planetas que albergan vida en los que se ha desarrollado inteligencia, f_c la fracción de culturas que envían señales, a lo largo de distancias interestelares, para intentar comunicarse con otras civilizaciones, y L el tiempo que viven esas civilizaciones). Tras haber contado con hogares diferentes (el más prominente NASA), en la actualidad existe un Instituto SETI, de carácter privado, que es capaz de reunir suficiente financiación para desarrollar un programa de investigación de cierta ambición.

Uno de los científicos que desarrollaron este tipo de investigaciones, fue Cari Sagan, notable astrofísico más conocido popularmente por obras de ensayo y divulgación científica como la serie de televisión *Cosmos*, *Los dragones del Edén* (1978), que ganó un premio Pulitzer, o, más recientemente, su novela *Contacto*, que dio origen a una película de éxito. Es, seguramente, apropiado poner punto final a este, acaso ya demasiado extenso, libro recuperando la voz de Sagan, precisamente a propósito de esta cuestión —la de si existe vida inteligente fuera de la Tierra—, con respecto a la cual nadie puede ser ajeno. Yo, a veces, me imagino despertarme y enterarme de que se ha descubierto vida inteligente en algún lugar del cosmos. La verdad, me gustaría vivir ese momento. ¿Para qué valdría? No lo sé: seguramente para nada, pero a mí, al menos, me daría, creo, cierta sensación de compañía en la inmensa soledad que es el Universo.

The Dragons of Eden (1978) (*Los dragones del Edén*)

«Se afirma en ocasiones que en el futuro la comunicación interestelar será predominantemente de orden telepático, afirmación que, en el mejor de los casos, me parece una idea festiva. Por el momento no existe ni el más leve indicio que respalde este aserto y, por otra parte, todavía no sé de un solo experimento de transmisión telepática en *este* planeta que sea medianamente convincente. Por lo demás, todavía no estamos en condiciones de llevar a cabo vuelos espaciales interestelares dignos de este nombre, lo cual no excluye que otras civilizaciones más avanzadas sean capaces de ello. A pesar de toda la chachara sobre objetos volantes no identificados y astronautas de remotos tiempos, no existen pruebas concluyentes de que hayamos recibido, o vayamos a recibir, la visita de seres extraterrestres.

Así pues, quedan excluidos de la discusión los artefactos espaciales. La hipotética comunicación con los seres extraterrestres utilizaría, quizás, el espectro electromagnético, y, muy probablemente, la banda que corresponde a las ondas radioeléctricas; o puede que empleara las ondas gravitatorias, los neutrinos, que no son, plausiblemente, sino taquiones (en el supuesto de que existan), o algún nuevo aspecto de la física que no será descubierto hasta que hayan transcurrido otros tres siglos. Pero, sea cual fuere el conducto utilizado para esta comunicación, será preciso disponer de instrumentos y aparatos de detección adecuados, y si hemos de basarnos en la experiencia que nos proporciona la radioastronomía, podemos añadir que serán aparatos regulados por ordenador y con una capacidad analítica muy próxima a lo que llamamos inteligencia. No basta con la mera inspección ocular de los archivos para expurgar

entre un montón de datos acumulados a lo largo de muchos días en 1.008 frecuencias distintas y donde la masa informativa puede variar en muy pocos segundos, e incluso fracciones de segundo, sino que se requieren técnicas de autocorrelación y computadores electrónicos de gran tamaño. Por otra parte, esta situación, que rige también para las observaciones que Frank Drake, de la Universidad de Cornell, y yo mismo hemos llevado a cabo recientemente en el observatorio de Arecibo, va a ganar en complejidad —lo que equivale a decir que dependerá en mayor medida de los computadores— cuando entren en funcionamiento los aparatos de escucha que probablemente emplearemos en un futuro próximo. Estamos en condiciones de proyectar programas receptores y transmisores de fabulosa complejidad, y con un poco de suerte emplearemos sutilísimos e ingeniosos ardides; pero ello no impedirá que tengamos que recurrir a las fabulosas dotes de la inteligencia mecánica para proseguir la búsqueda de hipotéticos seres extraterrestres.

El número de avanzadas civilizaciones que hoy puedan existir en la galaxia de la Vía Láctea dependerá de múltiples factores, que van desde el número de planetas que tenga cada estrella hasta la probabilidad de que exista vida en cada uno de ellos. Pero una vez ha surgido la vida en un medio relativamente favorable y han transcurrido miles de millones de años del proceso evolutivo, somos muchos los que creemos en la posibilidad de que en este medio hayan aparecido seres inteligentes. Sin duda, la senda evolutiva sería distinta de la que ha conocido la Tierra. Es muy probable que la secuencia de eventos acaecidos en nuestro planeta —entre ellos la extinción de los dinosaurios y la recesión forestal ocurrida durante el pleistoceno— difiera de la que ha presidido la evolución de la vida en las restantes regiones del universo. Creemos, sin embargo, que han de existir pautas funcionalmente equivalentes que a la postre conduzcan a un resultado parecido. Toda crónica evolutiva de la Tierra, particularmente la plasmada en la cara interna de los cráneos fósiles, pone de manifiesto esta tendencia progresiva a la formación de organismos inteligentes. Nada misterioso hay en ello, puesto que, por regla general, los seres más inteligentes subsisten en mejores condiciones y dejan más descendencia que los organismos menos dotados. Los detalles dependerán, por supuesto, de las circunstancias, como, por ejemplo, de si el hombre ha exterminado a otros primates en posesión de un lenguaje o de si nuestros antepasados ignoraron a los simios con facultades de comunicación sólo un poco inferiores a las suyas. Pero la tendencia general parece bastante obvia y debería regir también la evolución de la vida inteligente en otras regiones del universo. Una vez los seres inteligentes han alcanzado un determinado estadio tecnológico y la capacidad de autodestrucción de la especie, los beneficios de la inteligencia en el orden selectivo resultan ya mucho más inciertos.

¿Y qué decir en el supuesto de que recibiésemos un mensaje? ¿Existe algún motivo para pensar que los seres que lo transmiten —evolu-

cionados a lo largo de miles y millones de años de tiempo geológico en un medio completamente distinto del nuestro— se asemejarían lo suficiente a nosotros como para que pudiésemos entenderlo? Creo que la respuesta debe ser afirmativa. Una civilización que transmite señales por radio debe tener forzosamente nociones sobre frecuencias, constantes de tiempo y amplitudes de banda, elementos comunes todos ellos a las civilizaciones que transmiten y reciben comunicaciones. En cierto modo, la situación es comparable a la comunicación entre los radioaficionados, cuyas conversaciones, salvo ocasionales emergencias, se centran casi de forma exclusiva en la mecánica de sus aparatos, porque saben que es el único aspecto de sus vidas que comparten inequívocamente.

Pero yo pienso que la situación da pie a mostrarse mucho más esperanzados que todo eso. Sabemos que las leyes de la naturaleza —o por lo menos algunas de ellas— rigen en todo el universo. La espectroscopia nos indica que en otros planetas, estrellas y galaxias existen los mismos elementos químicos, las mismas moléculas comunes; y el hecho de que los espectros sean iguales demuestra que en otras regiones del universo se dan los mismos mecanismos para inducir a átomos y moléculas a absorber y emitir radiaciones. Asimismo, podemos observar cómo distantes galaxias se desplazan lentamente en torno a otras conforme a las mismas leyes gravitatorias que rigen la órbita de un pequeño satélite artificial girando alrededor de nuestro tenuemente azulado planeta. Se ha comprobado, también, que la gravedad, la mecánica de los cuantos y el núcleo principal de la física y de la química son los mismos por doquier.

Es probable que los supuestos organismos dotados de inteligencia que habitan en otros planetas no tengan la misma estructura bioquímica que nosotros. Lo más seguro es que presenten un muy diferente cuadro de adaptaciones —desde las enzimas hasta los órganos corporales— que les permitan afrontar las condiciones específicas de los distintos mundos. Aun así, se ven confrontados con las mismas leyes de la naturaleza. Las leyes que rigen la caída de los cuerpos nos parecen muy sencillas. La velocidad de caída de un objeto sometido a una aceleración constante —producto de la fuerza de atracción gravitatoria— es proporcional al tiempo, y el espacio recorrido es proporcional al cuadrado del tiempo. Se trata de relaciones muy elementales que, por los menos desde los tiempos de Galileo, vienen gozando de una aceptación general. Con todo, es concebible un universo en el que las leyes de la naturaleza revistan mucha más complejidad. El hecho es, empero, que no habitamos en un universo de este tipo. ¿Por qué no? Pues tal vez porque todos los organismos que hallaban demasiado complejo su universo han terminado por extinguirse. Aquellos de nuestros antepasados arborícolas que tenían dificultades para calcular sus trayectorias mientras avanzaban de rama en rama no dejaron numerosa descendencia. La se-

lección natural ha operado como una especie de cedazo intelectual dando paso a cerebros y a intelectos cada vez mejor dotados para afrontar las leyes de la naturaleza. Esta resonancia entre la mente y el universo, producto de la selección natural, puede ayudarnos a resolver el abstruso dilema planteado por Einstein cuando afirmó que "la propiedad más incomprensible del universo es, precisamente, que sea tan comprensible".

Si ello es así, parece plausible que en otros mundos se haya producido la misma criba que culminó con la aparición de seres inteligentes. Quizá los organismos extraterrestres que carezcan de antepasados en el reino de las aves o de los animales arborícolas no tengan como nosotros la pasión de surcar el espacio. Sin embargo, todas las atmósferas planetarias son relativamente transparentes en las partes visibles y electromagnéticas del espectro, y ello en razón del comportamiento cuántico de los átomos y moléculas que más abundan en el cosmos. En consecuencia, los organismos que pueblan otras regiones del espacio deberían ser sensibles a la radiación óptica y/o a las ondas radioeléctricas. Por lo demás, y tras los avances de la física, la idea de la radiación electromagnética como medio de comunicación interestelar debería ser un hecho corriente a escala cósmica, una noción convergente surgida de manera independiente en incontables mundos de la galaxia después de que cada uno de ellos hubiese cimentado las bases de la astronomía, lo que podríamos llamar "las verdades de la vida". Creo que si tenemos la fortuna de entablar contacto con uno de esos otros seres podremos comprobar cómo su biología, psicología, sociología y concepción política nos resultan extravagantes y misteriosos en grado extremo. Por el contrario, tengo la impresión de que no habría dificultad para una mutua comprensión de los aspectos más simples de la astronomía, la física, la química y, quizá, de la matemática.

Ciertamente no confío en que los cerebros de estos hipotéticos seres sean anatómica, fisiológica y ni siquiera químicamente iguales a los nuestros. Los cerebros de estos supuestos seres habrían conocido un proceso evolutivo en medios totalmente distintos. No hay más que ver las grandes diferencias orgánicas entre las distintas especies animales que pueblan la Tierra para darse cuenta de las variaciones que admite la fisiología del cerebro. Hay, por ejemplo, un pez africano de agua dulce, el mormirido, que suele vivir en cursos fluviales de aguas turbias, lo que le impide ser visto por los depredadores, por sus presas o por otros peces. El mormirido posee un órgano especial que genera un campo eléctrico y que le permite detectar el paso de cualquier criatura que lo atraviese. Pues bien, esta especie piscícola posee un cerebelo que ocupa toda la parte posterior del cerebro formando una gruesa capa que recuerda la neocórtex de los mamíferos. Pese a que los mormiridos poseen un cerebro tremendamente diferenciado de cualquier otro, desde una perspectiva esencialmente biológica se parecería mucho más al cerebro humano que al de un supuesto ser extraterrestre dotado de inteligencia.

Es probable que, como en nuestro caso, los cerebros de los organismos extraterrestres posean varios o muchos componentes acrecentados a través de un lento proceso evolutivo. También es posible que, al igual que en el hombre, se dé una tensión entre ellos, por más que el rasgo distintivo de una civilización que ha logrado sobrevivir por largo tiempo y superar los peligros de su entorno radique en la capacidad de arbitrar una paz duradera entre los diversos componentes cerebrales. Muy probablemente, este supuesto orgánico extraterrestre habría ampliado también su inteligencia por vía extrasomática, mediante el uso de máquinas capaces de razonar. De todos modos, creo que nuestros cerebros y máquinas acabarán por entenderse y compenetrarse a fondo con los suyos.»

CARL EDWARD SAGAN (Nueva York, 1934- Seattle, 1996). Estudió y se doctoró en la Universidad de Chicago. Tras ocupar diversos puestos, en 1968 se trasladó a la Universidad de Cornell, donde llegó a ser catedrático de Astronomía y Ciencias Espaciales, así como director del laboratorio de Estudios Planetarios. Desempeñó un papel destacado en el programa espacial estadounidense prácticamente desde sus comienzos: aleccionó a los astronautas del programa *Apollo* antes del viaje de éstos a la Luna; fue asesor de los programas *Mariner*, *Viking*, *Voyager* y *Galileo*, y ayudó a resolver problemas como el de las altas temperaturas de Venus o los cambios estacionales de Marte.

Referencias bibliográficas

A continuación, reseño las fuentes bibliográficas en que he basado esta antología. Junto a la referencia de las obras originales incluyo las que corresponden a las traducciones al castellano, cuando éstas existen, naturalmente. Si no se indica nada relativo a ésta, quiere decir que yo mismo he realizado la traducción a partir de la versión original. No es imposible, por supuesto, que existan traducciones de obras que yo supongo, por ignorancia, no vertidas a nuestro idioma.

Introducción. La frase —«*tanquam ex ungue leonera*»— que da título a este libro, y que se comenta en la introducción, es citada en numerosas biografías de Newton. La obra más antigua en la que aparece es, de las que yo conozco, la de David Brewster, *The Life of Sir Isaac Newton* (John Murray, Londres, 1831).

1. *Tratados hipocráticos* (Gredos, Madrid, 1983), traducción de María D. Lara Nava, págs. 77-78.
2. PLATÓN, *Timeo* (Aguilar, Buenos Aires, 1966), traducción de Francisco de P. Samarach, págs. 97-99.
3. WERNER HEISENBERG, *Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik* (1969). Traducción de Wolfgang Strobl y Luis Pelayo, *Diálogos sobre la física atómica* (Biblioteca de Autores Cristianos, Madrid, 1971), del capítulo 1 («Primer encuentro con la teoría del átomo»). Platón, *Timeo* (Aguilar, Buenos Aires, 1966), págs. 136-143.
4. EUCLIDES, *Elementos*. Libro I, (Gredos, Madrid, 1991), traducción de María Luisa Puertas Castaños, págs. 189-201.
5. ARISTÓTELES, *Investigación sobre los animales* (Gredos, Madrid, 1992), traducción de Julio Pallí Bonet, págs. 340-343.
6. ARQUIMEDES, *Sobre los cuerpos flotantes*. Libro I. Versión inglesa recogida en: T. L. Heath (ed.), *The Works of Archimedes* (Cambridge University Press, Cambridge, 1897).
7. T. LUCRECIO CARO, *De rerum natura*. Traducción de Eduardo Valenti, *De la naturaleza*. Libro I (CSIC, Madrid, 1983), págs. 22-31.

8. ANDREAS VESALIO, *De humani corporis fabrica* (Basilea, 1543). Versión castellana, *Fábrica del cuerpo humano* (Ediciones Doce Calles S./Difusora Internacional S.A., Aranjuez, 1997), traducción de Avelino Domínguez García y Florentino Fernández González. De la «Dedicatoria a Carlos V, el más grande e invicto emperador, de los libros de Andreas Vesalio sobre *La anatomía del cuerpo humano*».
9. NICOLÁS COPÉRNICO, *De revolutionibus orbium coelestium* (1543). Traducción de Carlos Mínguez y Mercedes Testal, *Sobre las revoluciones de los orbes celestes* (Editora Nacional, Madrid, 1982). «Prefacio» de Andreas Osiander y «Prefacio» al «Santísimo Señor Pablo III, Pontífice Máximo» de N. Copérnico, págs. 85-86,91-95.
10. GALILEO GALILEI, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico e copernicano* (Florencia, 1632). Traducción de Antonio Beltrán Man, *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicana* (Alianza, Madrid, 1994), págs. 47-52.
11. WILLIAM HARVEY, *Exercitatio anatómica de motu coráris et sanguinis in animalibus* (Francofurti, 1628). Traducción de M. Araujo, *Una disquisición anatómica relativa al movimiento del corazón y la sangre en los animales*, en Pedro Laín Entralgo, *Harvey* (Ediciones el Centauro, Madrid, 1948), vol. 1, págs. 244-250.
12. ISAAC NEWTON, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Londres, 1687). Traducción de Eloy Rada García, *Principios matemáticos de la filosofía natural* (Alianza, Madrid, 1987), págs. 135-137, 635-636, 782-784. I. Newton a R. Bentley en *The Correspondence of Isaac Newton*, H. W. Turnbull (ed.), (Cambridge University Press, Cambridge, 1961), vol. 3, págs. 253-254.
13. GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ, *La polémica Leibniz-Clarke*, edición y traducción de Eloy Rada (Taurus, Madrid, 1980), págs. 67-69.
14. *Philosophical Transactions* (6 de marzo de 1665), vol. 1, número 1, págs. 1 -2.
15. «An account of the experiment of transfusión, practised upon a man in London», *Philosophical Transactions* (9 de diciembre de 1667), número 30, págs. 557-559.
16. LEONHARD EULER, *Lettres a une Princesse d'Allemagne sur quelques sujets de Physique et de Philosophie*, 3 vols. (San Petersburgo, 1768, 1772).
17. ANTOINE LAURENT DE LAVOISIER, *Traite élémentaire de chimie, présenté dans un ordre nouveau et d'après les decouvertes modernes* (París, 1789). Traducción de Ramón Gago Bohórquez, *Tratado elemental de química* (Alfaguara, Madrid, 1982), del «Discurso preliminar», págs. 5-11.
18. JEAN-BAPTISTE PIERRE ANTOINE DE MONET, CABALLERO DE LAMARCK, *Philosophie zoologique* (París, 1809). Traducción de José González Llana, *Filosofía zoológica* (F. Sempere y Cia., Valencia; circa 1910-1913), del capítulo 7 («De la influencia de las circunstancias sobre las acciones y los hábitos de los animales, y la de las acciones y los hábitos de estos cuerpos vivientes como causas que modifican su organización y sus partes»), págs. 166-171, 174-177.
19. PIERRE-SIMON LAPLACE, *Essai philosophique sur les probabilités* (París, 1814). Traducción de Pilar Castillo, *Ensayo filosófico sobre las probabilidades* (Alianza Editorial, Madrid, 1985), págs. 25-28.
20. ALEXANDER VON HUMBOLDT, *Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung* (Stuttgart, Tubinga, 1845-1852). Traducción de Bernardo Giner, *Cosmos. Ensayo de una descripción física del mundo* (Madrid, 1874), del «Prefacio».
21. CHARLES LYELL, *Elements of Geology* (primera edición, 1838; segunda, 1841). Traducción de Joaquín Ezquerro del Bayo, *Elementos de geología* (Madrid, 1847), del capítulo 1, págs. 11-14.
22. WILLIAM THOMSON (lord KELVIN), «The 'doctrine of uniformity' in Geology briefly refuted» [«La doctrina de la uniformidad en geología refutada brevemente»], *Proceedings of the Royal Edinburgh Society* 5, 512-513 (1865), artículo leído ante la Royal Society de Edimburgo el 18 de diciembre de 1865.
23. THOMAS ROBERT MALTHUS, *An Essay on the Principie of Population* (1798). Traducción de Patricio de Azcárate Diz, *Primer ensayo sobre la población* (Alianza, Madrid, 1966), págs. 53-54, 128-129.
24. CHARLES DARWIN, *Journal of Researches into the Geology and Natural History of the Various Countries Visited by H.M.S. Beagle from 1832 to 1836* (1839). Traducción, (*La España moderna*, J&99) *Viaje de un naturalista alrededor del mundo* (Akal, Madrid, 1997), vol. 2, págs. 185-186, 189. Darwin a Joseph Dalton Hooker en *Autobiografía y cartas escogidas* (Alianza, Madrid, 1997), traducción de Aarón Cohén, María Teresa de la Torre y María Luisa de la Torre, pág. 350. *On the Origin of Species by means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life* (Londres, 1859), he utilizado la versión de Antonio de Zulueta, *Sobre el origen de las especies mediante la selección natural, o la preservación de especies favorecidas en la lucha por la vida* (Espasa-Calpe, Madrid, 1988), págs. 114-115. *The Autobiography of Charles Darwin, 1809-1882. With ori-*

- ginal omissions restored*, Nora Barlow (ed.), (Collin, Londres, 1958), versión castellana de los pasajes antes omitidos a cargo de José Manuel Sánchez Ron en *Autobiografía y cartas escogidas*, págs. 160-164.
25. THOMAS HENRY HUXLEY, *Life and Letters of Thomas Henry Huxley* (Londres, 1900), vol. 1, págs. 186-187.
 26. MARIE FRANCOIS XAVIER BICHAT, *Recherches physiologiques sur la vie et la mort* (París, 1800). Traducción a cargo de A. F. y R. R., *Investigaciones fisiológicas sobre la vida y la muerte* en *Clásicos de la medicina. Bichat*, selección, notas y estudio preliminar de Pedro Laín Entralgo (Ediciones el Centauro, Madrid, 1946), sección: «Diferencias generales de las dos vidas en relación con las fuerzas vitales.»
 27. HERMANN VON HELMHOLTZ, «Erinnerungen. Tischrede gehalten bei der Feier des 70. Geburtstages» («Un esbozo autobiográfico»), *Vortrage und Reden*, vol. 1, 5ª edición (Braunschweig, 1903).
 28. CLAUDE BERNARD, *Introduction á Vétude de la médecine expérimentale* (París, 1865). Traducción de Antonio Espina y Capo, *Introducción al estudio de la medicina experimental* (Madrid, 1880), del «Prefacio» y capítulo 4.
 29. JAMES CLERK MAXWELL, «Faraday», *Encyclopaedia Britannica*, novena edición (Edimburgo); reimpresso en James Clerk Maxwell, *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell* (Cambridge, 1899), vol. 2. Traducción de José Manuel Sánchez Ron, *James Clerk Maxwell, Escritos científicos* (CSIC, Madrid, 1998), págs. 49-56.
 30. LUDWIG BOLTZMANN, «Über das Gleichgewicht der lebendigen Kraft zwischen progressiver und Rotationsbewegung bei Gasmolekülen», *Monatsberichte der Koniglich Preussischen Akademie der Wissenschaften* (Berlín, 1888), págs. 1395-1408
 31. FRIEDRICH AUGUST KEKULÉ VON STRADONITZ, conferencia pronunciada sobre los orígenes y el nacimiento de la teoría estructural de la química orgánica: *Berichte der Deutschen Chemischen Gessellschaft* 23, 1302 (1890), he utilizado la versión inglesa incluida en: O. Theodor Benfey (traductor), «August Kekulé and the birth of the structural theory of organic chemistry in 1858», *Journal of Chemical Education* 35, 21-23 (1958).
 32. GEORG FRIEDRICH BERNHARD RIEMANN, *Über die Hypothesen welche der Geometrie zu Grunde liegen* (1854). Traducción de E. Vidal Abascal, *Sobre las hipótesis que sirven de fundamento a la geometría*; publicada como apéndice a su monografía, *Estado actual, métodos y problemas de la geometría diferencial* (CSIC, Madrid, 1958).
 33. HEINRICH HERMANN ROBERT KOCH, «Über bakteriologische Forschung», *Verhandlungen des X internationalen medizinische Kongresses* (Berlín, 1890), vol. 1, págs. 35-47. Traducción de Raúl F. Vaccarezza, «Sobre la investigación bacteriológica» en R. Koch, *La etiología de la tuberculosis y otros trabajos* (EUDEBA, Buenos Aires, 1965), págs. 87-97, 101-102.
 34. LOUIS PASTEUR, «Méthode pour prevenir la rage après morsure», «Método para prevenir la rabia después de una mordedura» en *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences 101* (sesión del 26 de octubre de 1885), págs. 765-774. Traducción de María José Báguena y Eugenio Pórtela en *Pasteur*, edición de María J. Báguena y E. Pórtela (Península, Barcelona, 1988), págs. 309-315.
 35. CESARE LOMBROSO, *Anatomía patológica de los criminales y Antropometría y fisionomía de los criminales. Tipo criminal* en José Luis Peset y Mariano Peset, *Lombroso y la escuela positivista italiana* (CSIC, Madrid, 1975), págs. 403-407, 433-436. Desgraciadamente, en esta obra no se incluyen las referencias originales, y yo no he podido localizarlas.
 36. FRANCIS GALTON, *Inquiries into Human Faculty and its Development* (1883). Traducción de Raquel Álvarez Peláez, *Investigaciones sobre la facultad humana y su desarrollo* (Alianza, Madrid, 1988), págs. 121-123, 128-130.
 37. JOSÉ ECHEGARAY Y EIZAGUIRRE, *Historia de las matemáticas puras en nuestra España* (Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, 1866).
 38. I. P. PÁVLOV, el discurso pronunciado en el Congreso Internacional de Medicina celebrado en Madrid en abril de 1903, del que proceden los pasajes reproducidos aquí, apareció publicado por primera vez, según tengo entendido, en las *Actas de la Academia Médica Militar* (1903), pág. 103. Yo he consultado una versión inglesa, Ivan Petrovich Pávlov, «Eksperimentalnaya psikhologia i psikhopatologia na zhivotnykh» en I. P. Pávlov, *Selected Works* (Foreign Languages Publishing House, Moscú, 1955), págs. 151-167.
 39. SANTIAGO RAMÓN Y CAJAL, *Historia de mi labor científica* (1923). Yo he utilizado la edición de Alianza (Madrid, 1981), de los capítulos 3 y 4, págs. 53-58, 67-71.
 40. W. E. AYRTON, «Sixty years of submarine telegraphy» «Sesenta años de telegrafía submarina», *Electrician*, 19 de febrero de 1897, pág. 548.
 41. HENRI BECQUEREL, «Sur les radiations émises par phosphorescence» [«Sobre las radiaciones emitidas por fosforescencia»], *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences 122*, 420-421 (1896); «Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents» [«Sobre las radiaciones invisibles

- emitidas por los cuerpos fosforescentes»], *Comptes Rendus de VAcadémie des Sciences* 122, 501-503 (1896); «Emission de radiations nouvelles par l'uranium métallique» [«Emisión de nuevas radiaciones por el uranio metálico»], *Comptes Rendus de VAcadémie des Sciences* 122, 1086-1088 (1896).
42. MARIE CURIE, *Autobiographical Notes*, incluido como apéndice en la traducción al inglés de su libro, *Pierre Curie* (Nueva York, 1923). Gregorio Marañón, «Madame Curie», *El Liberal*, 21 de abril de 1919; «La conferencia de Madame Curie», *El Liberal*, 23 de abril de 1919.
43. SIGMUND FREUD, *Abriss der Psychoanalyse Internationale Zeitschrift für Psychoanalyse und Mago* (1940). Traducción de Luis López-Ballesteros y de Torres, *Esquema del psicoanálisis* (Editorial Biblioteca Nueva, Madrid, 1998), del capítulo 5, «La interpretación de los sueños como modelo ilustrativo». He utilizado una reedición publicada por Debate (Madrid, 1998), págs. 77-84.
44. MAX PLANCK a Robert Williams Wood, 7 de octubre de 1931. Citada en Armin Hermann, *The Génesis of Quantum Theory* (The MIT Press, Cambridge, Mass., 1971), págs. 23-24.
45. ALBERT EINSTEIN a Jacques Hadamard en *The Psychology of invention in the Mathematical Field* (Princeton, 1945), reeditado en Dover (Nueva York, 1954), págs. 142-154. A. Einstein, «Autobiographical notes», *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, Paul Arthur Schilpp (ed.), (La Salle, 111., 1949). Traducción de Miguel Paredes, *Notas autobiográficas* (Alianza, Madrid), págs. 51-53 («My theory») («Mi teoría»), *The London Times*, 28 de noviembre de 1919, pág. 13. Traducción de José M. AlvarezFlórez y Ana Golder, «¿Qué es la teoría de la relatividad?» en *A. Einstein, Mis ideas y opiniones* (Antoni Bosch, Barcelona, 1981), págs. 202-206.
46. OLÍ VER LODGE a Edmund T. Whittaker, 27 de mayo de 1929 (Archivos del University College London), citada en José Manuel Sánchez Ron, «Larmor versus general relativity» en *The Expanding World of General Relativity*, H. Goenner, J. Renn, J. Ritter y T. Sauer (eds.), (Birkhauser Verlag, Boston, en prensa).
- 47-48. WERNER KARL HEISENBERG, «Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen» («Reinterpretación teórico-cuántica de relaciones cinemáticas y mecánicas»), *Zeitschrift für Physik* 33, 879-893 (1925). Hendrik A. Lorentz a Erwin Schrödinger, 27 de mayo de 1926 en *Letters on Wave Mechanics*, K. Przibram (ed.), (Vision, Londres, 1967), pág. 47. MAX BORN, «Zur Quantenmechanik der Stossvorgänge» («Sobre la mecánica cuántica de las colisiones»), *Zeitschrift für Physik* 37, 863-867 (1926). WERNER HEISENBERG, «Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik» («El contenido físico de la cinemática y mecánica cuántica»), *Zeitschrift für Physik* 43, 172-198 (1927).
49. NIELS BOHR, «Quantum physics and philosophy: causality and complementarity» en *Philosophy in the Mid-Century*, R. Klibansky (ed.), (Florenca, 1958). Traducción de Carlos Rodríguez, «Física cuántica y filosofía: causalidad y complementariedad» en *Nuevos ensayos sobre física atómica y conocimiento humano* (Aguilar, Madrid, 1970), págs. 4-8,10.
50. ALBERT EINSTEIN, *Max Born Briefwechsel 1916-1955 (Correspondencia con Max Born, 1916-1955)*, (Nymphenburger Verlagshandlung GmbH., Munich, 1969).
51. BERTRAND ARTHUR WILLIAM RUSSELL, *Autobiography* (George Alien y Unwin, Londres, 1967), (*Autobiografía*), del «Prólogo» [«Para qué he vivido»].
52. GODFREY H. HARDY, *A Mathematician's Apology (La apología de un matemático)*, (Cambridge University Press, Cambridge, 1940); del capítulo 8.
53. PAUL A. M. DIRAC, «The relation between mathematics and physics», («La relación entre matemáticas y física»), *Proceedings of the Roy al Society of Edinburgh* 59, 122-129 (1938-1939).
54. La carta de Albert Einstein a Franklin D. Roosevelt, 2 de agosto de 1939, se encuentra reproducida en varias obras; por ejemplo, en *Einstein on Peace*, Otto Nathan y Heinz Norden (eds.), (Schocken Books, Nueva York, 1968), págs. 294-296.
55. CECILIA PAYNE-GAPOSCHKIN, «On being a woman» en *The Dyer's hand, an autobiography*, en *An Autobiography and other Recollections [Una autobiografía y otros recuerdos]* (Cambridge University Press, Cambridge, 1984), págs. 219-227.
56. ALFRED WEGENER, *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (Braunschweig, 1915). Traducción de Francisco Anguita y Juan Carlos Herguera, *El origen de los continentes y océanos* (Pirámide, Madrid, 1983); de los capítulos 1 («Preliminares históricos») y 2 («La naturaleza de la deriva continental»).
57. THOMAS HUNT MORGAN, *The Theory of the Gene* (New Haven, 1928). Traducción de A. Pi Suñer, *Los fundamentos de la biología* (Universidad Central de Venezuela, Caracas, 1965). Fragmento citado por José María López Pinero, *Antología de clásicos médicos* (Editorial Triacastela, Madrid, 1998), págs. 308-309.

58. ERWIN SCHRÖDINGER, *What is Life?* (Cambridge, 1944). Traducción de Ricardo Guerrero, *¿Qué es la vida?* (Tusquets, Barcelona, 1983), pág. 59.
59. FRED HOYLE, «A new model for the expanding universe» («Un nuevo modelo para el universo en expansión»), *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 108, 372-382 (1948), pág. 372.
60. JAMES DEWEY WATSON, *The Double Helix* (1968). Traducción de Adolfo Martín, *La doble hélice* (Salvat, Barcelona, 1987), págs. 117-128.
61. FRANCIS H. CRICK, «DNA: A cooperative history» («ADN: una historia de cooperación») en Donald A. Chambers (ed.), *DNA: The Double Helix. Perspective and Prospective at Forty Years* (Academia de Ciencias de Nueva York, Nueva York, 1995), págs. 198-199.
62. STEPHEN JAY GOULD, *The Mismeasure of Man* (Nueva York, 1981). Traducción de Ricardo Pochtar y Antonio Desmots, *La falsa medida del hombre* (Antoni Bosch, Crítica, Barcelona, 1997), págs. 136,138,317-318 de la edición de Crítica.
63. LUCA Y FRANCESCO CAVALLI-SFORZA, *Chi siamo. La storia della diversità umana* (1993). Traducción de Juan Vivanco, *Quiénes somos. La historia de la diversidad humana* (Crítica, Barcelona, 1994), págs. 140,246.
64. RACHEL LOUISE CARSON, *Silent Spring* (Houghton, Nueva York, 1962) (*Primavera silenciosa*); del capítulo 3 («Elixires de la muerte»).
65. STEVEN WEINBERG, *The First Three Minutes. A Modern View of the Universe* (Nueva York, 1977). Traducción, *Los tres primeros minutos del Universo* (Alianza Editorial, Madrid, 1996); del capítulo 8 («Epílogo: La perspectiva futura»), págs. 211-217.
66. JOHN ARCHIBALD WHEELER con KENNETH FORD, *Geons, Black Holes and Quantum Foam* (Norton, Nueva York, 1998), págs. 296-297. *A Journey into Gravity* (Nueva York, 1990). Traducción, *Un viaje por la gravedad y el espacio-tiempo* (Alianza, Madrid, 1994), pág. 221.
67. PAUL BERG, DAVID BALTIMORE, HERBERT W. BOYER, STANLEY N. COHÉN, RONALD W. DAVIS, DAVID S. HOGNESS, DANIEL NATHANS, RICHARD ROBLIN, JAMES D. WATSON, SHERMAN WEISSMAN Y NORTON D. ZINDER, «Potential biohazards of recombinant DNA molecules» («Peligros potenciales en moléculas de ADN recombinantes»), *Science* 185, 303 (1974).
68. HENRI POINCARÉ, *Science et méthode* (París, 1908). Traducción de M. García Mirana y L. Alonso, *Ciencia y método* (Espasa-Calpe, Madrid, 1963), págs. 55-56.
69. EDWARD N. LORENZ, *The Essence of Chaos* (University of Washington Press, 1993). Traducción de Francisco Páez de la Cadena, *La esencia del caos* (Debate, Madrid, 1995), págs. 185-188.
70. L. W. ALVAREZ, W. ALVAREZ, F. ASARO Y H. V. MICHEL, «Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. Experimental results and theoretical interpretation», *Science* 208, 1095-1108 (6 de junio de 1980). He omitido en la cita las referencias que se hacen a otros trabajos.
71. WALTER ALVAREZ, *T. Rex and the Cráter of Doom* (1997). Traducción de Jorandoméc Ros, *Tyrannosaurus rex y el cráter de la muerte* (Crítica, Barcelona, 1998), págs. 122-127.
72. CARL EDWARD SAGAN, *The Dragons of Eden* (1978). Traducción de Rafael Andreu, *Los dragones del Edén* (Crítica, Barcelona, 1993), págs. 232-238.

Referencias fotográficas

- Pág. 7 Ilustración de *Júpiter entronizado*, dibujo realizado por Isaac Newton. Cortesía de la Cushing/Whitney Medical Library. Universidad de Yale.
- Pág. 11 Ilustración de Hipócrates, *Octoginta volumina* (Franciscus Minutius Calvus, Roma, 1525). Traducción del *corpus* hipocrático del griego al latín debida a Marcus Fabius Calvus.
- Pág. 14 Ilustración de Johann Miiller (Regiomontano) y Georg Peurbach, *Epitoma in Almagestum Ptolemai* (Venecia, 1496).
- Pág. 17 Ilustración de Luca Pacioli, personaje que amalgamó conocimientos matemáticos y místicos. Pintura atribuida a Jacopo de Barbai.
- Pág. 23 Grabado antiguo representando a Pitágoras y Filolao ocupándose de la relación entre números y sonidos (el tema de la armonía musical).
- Pág. 27 Aristóteles, según Francesco Traini. Colección Mansell, Londres.
- Pág. 30 Ilustración representando a Arquímedes en su bañera.
- Pág. 33 Ilustración de Rene Descartes, *Principia philosophiae* (Amsterdam, 1644).
- Pág. 38 Ilustración de *De humani corporis fabrica* (Basilea, 1543), de Andreas Vesalio.
- Pág. 50 Ilustración de Galileo Galilei, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico e copernicana* (Florencia, 1632).
- Pág. 57 Grabado del *De Motu Coráis* (1628), de William Harvey.
- Pág. 62 Retrato de Isaac Newton, pintado por Godfrey Kneller.
- Pág. 69 Retrato de Gottfried Wilhelm Leibniz.
- Pág. 73 Portada del primer número de las *Philosophical Transactions* de la Royal Society.
- Pág. 75 «El premio de la crueldad». Caricatura de Hogarth.
- Pág. 79 Ilustración de Magnus Hundt el Viejo, *Antropologium de hominis dignitate, natura, et proprietatibus de elementis* (Leipzig, 1501).
- Pág. 83 Lavoisier con su esposa. Pintura de J. L. David.
- Pág. 89 Retrato de Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet, caballero de Lamarck, realizado por Ch. Thévenin.
- Pág. 94 Cuadro representando a Pierre-Simon Laplace.
- Pág. 97 *Volcanes de fango de Turbaco*, grabado de Césari Famin. Gemälde von Columbien und Guayana, Frankfurt del Meno, 1837. Instituto Ibero-Americano, Berlín.
- Pág. 103 Retrato de Thomas Robert Malthus por J. Linnell, 1833. Por cortesía del British Museum.
- Pág. 106 Retrato de Charles Darwin por John Collier, 1883. Por cortesía de la National Portrait Gallery, Londres.
- Pág. 112 Caricatura de Charles Darwin.

- Pág. 116 Grabado de Hans Burgkmair que representa a Juan Tomás Porcell practicando la autopsia a una fallecida de peste.
- Pág. 121 Claude Bernard explicando un experimento a sus discípulos, entre los que se encuentran Dastre, Bert, D'Arsonval, Gréhant, Dumontpallier y Malassez. Cuadro de Lhermitte (La Sorbona, París).
- Pág. 125 Retrato de Michael Faraday por Thomas Phillips, 1842. Por cortesía de la National Portrait Gallery, Londres.
- Pág. 131 Fotografía de Ludwig Boltzmann, a la edad de 58 años.
- Pág. 134 Retrato de August Kekulé (Royal Society of Chemistry).
- Pág. 138 Malla de líneas curvas, representando una superficie bidimensional.
- Pág. 141 Dibujo de Robert Koch.
- Pág. 147 *Pasteur en su laboratorio*, Albert Edelfelt, 1885. Museo de Orsay, París.
- Pág. 155 Ilustración de Johannes Dryander, *Anatomiae, hoc est, corporis humanis dissectionis pars prior* (Marburgo, 1537).
- Pág. 165 *Retrato de José Echegaray*, de Joaquín Sorolla, 1905. Colección Banco de España.
- Pág. 170 Fotografía de Iván Pávlov en su laboratorio rodeado de sus colaboradores, 1904. Fotografía de Corbis Bettman.
- Pág. 176 Retrato de Santiago Ramón y Cajal. Residencia de Estudiantes de Madrid.
- Pág. 185 Fotografía de Harold Bride, radiotelegrafista del *Titanic*.
- Pág. 187 Fotografía de Henri Becquerel.
- Pág. 191 Retrato de Marie Curie.
- Pág. 196 Fotografía de Sigmund Freud. Mary Evans Picture Library, Londres.
- Pág. 201 Fotografía de Max Planck.
- Pág. 204 Dibujo de Albert Einstein debido a Emil Orlik.
- Pág. 212 Retrato de Oliver Lodge por George Reid, h. 1907. Por cortesía de la National Portrait Gallery, Londres.
- Pág. 215 Fotografía de Werner Heisenberg.
- Pág. 220 Fotografía de Niels Bohr. Por cortesía del American Institute of Physics.
- Pág. 226 Fotografía de Max Born.
- Pág. 228 Caricatura de Bertrand Russell realizada por Jack Rosen. Por cortesía de Bertrand Russell Archives, McMaster University.
- Pág. 231 Fotografía de G. H. Hardy. Por cortesía de la Cambridge University Press.
- Pág. 234 Retrato de Paul Adrien Maurice Dirac por Howard Morgan, 1980. Por cortesía de la National Portrait Gallery, Londres.
- Pág. 239 Portada de *Time*, 1 de julio de 1946.
- Pág. 242 Grupo de miembros del Harvard College Observatory. h. 1917. Por cortesía del Harvard College Observatory.
- Pág. 248 Fotografía de Alfred Wegener. Deutsches Museum, Munich.
- Pág. 254 Fotografía de Thomas Hunt Morgan. Foto © PPCM.
- Pág. 257 Fotografía de Erwin Schrodinger.
- Pág. 260 Fotografía de Fred Hoyle, durante un seminario. Por cortesía del American Institute of Physics.
- Pág. 263 Fotografía de James Watson y Francis Crick, junto a un modelo de ADN.
- Pág. 273 Árbol genético de las principales poblaciones del mundo y las familias lingüísticas.
- Pág. 280 Fotografía de Rachel Carson.
- Pág. 283 Fotografía de Steven Weinberg. E. B. Boatner.
- Pág. 288 Concepción artística de un agujero negro. William K. Hartmann.
- Pág. 291 Representación del ADN de doble cadena.
- Pág. 297 Fotografía de Henri Poincaré.
- Pág. 304 Réplica de un iguanodonte. Crystal Palace de Londres, 1853.
- Pág. 312 Máquina voladora utilizada por el español Domingo González para realizar el viaje a la Luna.