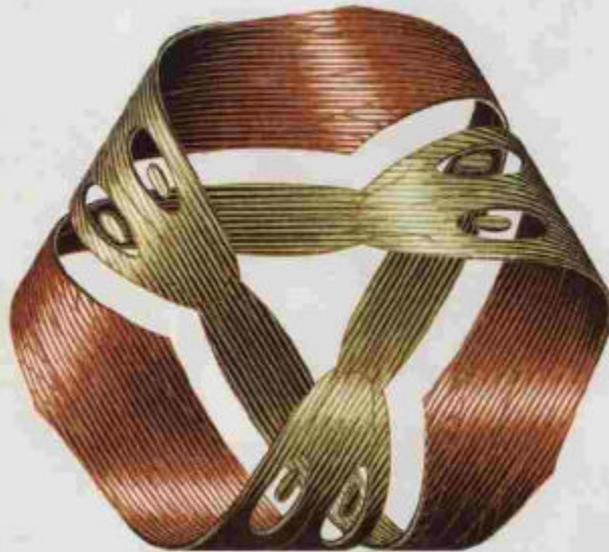


DESTEJIENDO EL ARCO IRIS

Ciencia, ilusión y el deseo de asombro

Richard Dawkins



METATEMAS 61

LIBROS PARA PENSAR LA CIENCIA

Título original: *Unweaving the Rainbow*

1ª edición: enero 2000

© Richard Dawkins, 1998

© de la traducción: Joandoménec Ros, 2000

Diseño de la cubierta: BM

Reservados todos los derechos de esta edición para

Tusquets Editores, S.A. - Cesare Cantù, 8 - 08023 Barcelona

ISBN: 84-8310-669-8

Depósito legal: B. 710-2000

Potocomposición: David Pablo

Impreso sobre papel Offset-F Crudo de Papelera del Leizarán, S.A.

Liberdúplex, S.L. - Constitución, 19 - 08014 Barcelona

Impreso en España

índice

P. 9	Prefacio
17	1. La anestesia de la familiaridad
31	2. El salón xle los duques
55	3. Códigos de barras en las estrellas
83	4. Códigos de barras en el aire
99	5. Códigos de barras en el estrado
131	6. Embaucados por la fantasía de las hadas
163	7. Destejiendo lo sobrenatural
197	8. Enormes símbolos nebulosos de un romance elevado
227	9. El cooperador egoísta
251	10. El libro genético de los muertos
273	11. Volviendo a tejer el mundo
303	12. El globo de la mente
	Apéndices
333	Bibliografía
343	índice onomástico y de materias

Para Lalla

Prefacio

Un editor extranjero de mi primer libro (*El gen egoísta*, 1976) me confesó que después de leerlo no pudo dormir durante tres noches; hasta tal punto llegó a perturbarlo su, para él, frío y desolado mensaje. Otros me han preguntado cómo puedo soportar levantarme de la cama cada mañana. Un profesor de un país lejano me escribió una carta llena de reproches en la que me contaba que una alumna se le había presentado llorando después de haber leído el mismo libro, porque se había convencido de que la vida era vana y carecía de propósito. El profesor le aconsejó que no mostrara el libro a ninguno de sus amigos, por miedo a que se contaminaran del mismo pensamiento nihilista. Acusaciones similares de desolación estéril, de promover un mensaje árido y lúgubre, se lanzan con frecuencia contra la ciencia en general, y a los propios científicos les cuesta poco subirse al mismo carro. Mi colega Peter Atkins concluye su libro *La segunda ley* (1984) de esta guisa:

Somos hijos del caos, y la estructura profunda del cambio es la degradación. En el fondo, sólo existe la corrupción y la imparable marea del caos. No hay finalidad; hay tan sólo dirección. Ésta es la cruda realidad que tenemos que aceptar si escudriñamos con profundidad y de forma desapasionada el corazón del universo.

Pero esta conveniente depuración de cualquier propósito edulcorado y falso, este laudable realismo en detrimento del sentimentalismo cósmico, no debe confundirse con la pérdida de la esperanza personal.

Aunque presumiblemente no exista finalidad alguna en el devenir del cosmos, ¿quién de nosotros ligaría sus esperanzas personales al destino último del universo? Nadie en su sano juicio haría algo así. Nuestra vida está gobernada por todo tipo de ambiciones y percepciones humanas, más cercanas y cálidas. Acusar a la ciencia de robarle a la vida la calidez que la hace digna de vivirse es una equivocación tan ridícula, tan diametralmente opuesta a mis propios sentimientos y a los de la mayoría de científicos en activo, que casi me veo abocado a la desesperación de la que injustamente se me responsabiliza. Pero en este libro intentaré una respuesta más positiva, apelando al sentido de lo maravilloso que hay en la ciencia, porque es muy triste pensar en lo que estos quejosos y negativistas *se están perdiendo*. Ésta es una de las cosas que el malogrado Cari Sagan sabía hacer muy bien, y por ello lo echamos de menos. El asombro reverencial que la ciencia puede proporcionarnos es una de las más grandes experiencias de la que es capaz la psique humana. Es una profunda pasión estética comparable a la música y la poesía más sublimes. Es, ciertamente, una de las cosas que hacen que valga la pena vivir, y lo hace de manera más efectiva, si cabe, al convencernos de que nuestro tiempo de vida es finito.

Mi título procede de Keats, quien creía que Newton había destruido toda la poesía del arco iris al reducirlo a los colores prismáticos. Keats no podía estar más equivocado, y mi propósito es guiar a todos aquellos que se sientan inclinados como él hacia la conclusión opuesta. La ciencia es, o debiera ser, una fuente principal de inspiración poética, pero no tengo el talento para remachar este razonamiento mediante la demostración, por lo que tengo que depender de una persuasión más prosaica. Dos de los títulos de capítulo los he tomado prestados de Keats; los lectores advertirán también las citas parciales o alusiones ocasionales a este poeta (y otros) que adornan el texto. Las he incluido como homenaje a su genio sensible. Keats era un personaje más agradable que Newton, y entre las sombras de los críticos imaginarios que miraban por encima de mi hombro mientras escribía estaba la suya.

La descomposición de la luz en los colores del arco iris por Newton condujo a la espectroscopia, que ha resultado ser la clave de gran parte de lo que sabemos hoy acerca del cosmos. Y el corazón de cualquier

poeta digno del calificativo de romántico no podría dejar de dar un brinco si contemplara el universo de Einstein, Hubble y Hawking. Leemos su naturaleza a través de las líneas de Fraunhofer («Códigos de barras en las estrellas») y sus desplazamientos a lo largo del espectro. La imagen de los códigos de barras nos lleva a los dominios muy distintos, pero igualmente intrigantes, del sonido («Códigos de barras en el aire») y luego a la identificación por el ADN («Códigos de barras en el estrado»), que ofrece la oportunidad de reflexionar sobre otros aspectos del papel de la ciencia en la sociedad.

En lo que llamo la «Elección de engaños» del libro, «Embaucados por la fantasía de las hadas» y «Destejiendo lo sobrenatural», me dirijo a la gente corriente supersticiosa que, sin la exaltación de los poetas que defienden el arco iris, se deleita en el misterio y se siente estafada cuando se le explica. Es gente que disfruta con las historias de fantasmas, cuya mente salta enseguida al *poltergeist* o el milagro siempre que sucede algo que parezca mínimamente extraño, y que nunca pierde la oportunidad de citar a Hamlet:

¡Hay algo más en el cielo y en la tierra, Horacio, de lo que
ha soñado tu filosofía!

La respuesta del científico («Sí, pero estamos trabajando en ello») no les inmuta en absoluto. Para ellos, encontrar la explicación de un buen misterio es ser un aguafiestas. Eso mismo pensaron algunos poetas románticos de la explicación que dio Newton del arco iris.

Michael Shermer, editor de la revista *Skeptic*, suele relatar una anécdota muy instructiva. En una ocasión desenmascaró públicamente a un famoso espiritualista televisivo. El hombre engañaba al personal con trucos ordinarios y le hacía creer que se estaba comunicando con espíritus de personas muertas. Pero, en lugar de mostrarse hostil con el charlatán desenmascarado, la audiencia se encaró con el desenmascarador y respaldó a una mujer que lo acusó de conducta «inadecuada» porque había destruido las ilusiones de la gente. Uno pensaría que la mujer tendría que haberle estado agradecida por quitarle la venda de los ojos,

1. *There are more things in heaven and earth, Horatio, / Than are dreamt of in your philosophy.*

pero por lo visto ella prefería mantenerla bien apretada. Creo que un universo ordenado, indiferente a las preocupaciones humanas, en el que todo tiene una explicación (aunque todavía nos falte mucho trecho por recorrer antes de encontrarla) es un lugar más hermoso y maravilloso que un universo embaucado por una magia caprichosa y *ad hoc*.

El paranormalismo puede considerarse un abuso del legítimo sentido de la maravilla poética que debería alimentar la auténtica ciencia. Una amenaza distinta procede de lo que podríamos llamar «mala poesía». El capítulo «Enormes símbolos nebulosos de un romance elevado» advierte contra la seducción que ejerce la mala ciencia poética, contra la fascinación de la retórica engañosa. A modo de ejemplo, me referiré a un autor que ha hecho contribuciones en mi propio campo y cuya imaginativa pluma le ha conferido una influencia desproporcionada (y creo que desafortunada) en la comprensión de la evolución por parte del público norteamericano. Pero el impulso dominante del libro es en favor de la buena ciencia poética, que no quiere decir ciencia escrita en verso, sino ciencia inspirada por un sentido poético de la maravilla.

Los cuatro últimos capítulos insinúan lo que podrían llegar a hacer unos científicos poéticamente inspirados y con más talento que yo en relación a cuatro temas diferentes pero interrelacionados. Por muy «egoístas» que sean, los genes deben ser también «cooperativos» en el sentido de Adam Smith (por eso el capítulo «El cooperador egoísta» se abre con una cita de dicho autor, aunque no hace referencia a este tema, sino a la maravilla misma). Los genes de una especie pueden contemplarse como una descripción de mundos ancestrales, un «Libro genético de los muertos». De modo parecido, el cerebro «vuelve a tejer» el mundo construyendo una «realidad virtual» continuamente puesta al día en la cabeza. En «El globo de la mente» especulo sobre los orígenes de los rasgos más distintivos de nuestra propia especie y, por último, vuelvo a maravillarme ante el impulso poético mismo y su posible papel en la evolución humana.

La informática está impulsando un nuevo Renacimiento, y algunos de sus genios creativos son a la vez mecenas y renacentistas por derecho propio. En 1995, Charles Simonyi, de Microsoft, dotó una nueva

cátedra de Divulgación de la Ciencia en la Universidad de Oxford, puesto para el que fui designado. Estoy en deuda con el doctor Simonyi, obviamente por su generosidad hacia una universidad con la que él no había tenido ninguna conexión previa, pero también por su visión imaginativa de la ciencia y de cómo debe divulgarse. Lo expresó maravillosamente en su presentación escrita al Oxford del futuro (su dotación es a perpetuidad, pero es característico en él evitar la circumspecta mezquindad del lenguaje leguleyo), y hemos discutido sobre estas cuestiones de vez en cuando desde que compartimos amistad tras mi nombramiento. *Destejiendo el arco iris* puede considerarse mi contribución al diálogo, además de mi discurso inaugural como profesor Simonyi.² Y si «inaugural» suena un poco impropio tras dos años en el cargo, quizá pueda tomarme la libertad de citar otra vez a Keats:

/

De este modo, andigo Charles, puedes ver claramente
Por qué nunca te he escrito una línea:
Porque mis pensamientos nunca fueron libres, ni claros,
Y eran poco aptos para agradar a un oído clásico.³

Por su propia naturaleza, un libro siempre tarda más en hacerse que un artículo o una conferencia. Durante su gestación, éste ha generado ambas cosas, así como programas radiofónicos. Debo citarlos ahora, por si el lector reconoce algún párrafo suelto. Utilicé por primera vez públicamente el título «Destejiendo el arco iris» y el tema de la irreverencia de Keats hacia Newton cuando fui invitado a dictar la conferencia C.P. Snow de 1997 por el Christ's College de Cambridge, la antigua facultad de Snow. Aunque no he abordado explícitamente el tema de su libro *Las dos culturas*, éste es desde luego relevante. Más todavía lo es *La tercera cultura*, de John Brockman, quien también me ha ayudado, en un papel muy distinto, como mi agente literario. El subtítulo «Ciencia, ilusión y el deseo de maravillas» lo he tomado del título de mi con-

2. Es habitual que quienes ocupan una cátedra creada por un patrocinador y que lleva su nombre, asocien éste a su título docente. Richard Dawkins es, efectivamente, el primer profesor Charles Simonyi de Divulgación de la Ciencia de la Universidad de Oxford. Lo mismo vale para las conferencias, discursos inaugurales, etc. (*N. del T.*).

3. *By this, friend Charles, you may full plainly see / Why I have never penn'd a line to thee: / Because my thoughts were never free, and clear, / And little fit to please a classic ear.*

ferencia Richard Dimpleby de 1996. Algunos párrafos de un borrador anterior de este libro aparecieron en esta conferencia televisada por la BBC. También en 1996 presenté un documental televisivo de una hora en el Channel Four, *Break the Science Barrier [Romper la barrera de la ciencia]*. Trataba el tema de la ciencia en la cultura, y algunas de las ideas de fondo, desarrolladas en conversaciones con John Gau, el productor, y Simón Raikes, el director, han influido en este libro. En 1998 incorporé algunos fragmentos del libro en mi conferencia para la serie *Sounding the Century [Sondeando el siglo]*, difundida por Radio 3 de la BBC desde el Queen Elizabeth Hall de Londres. (Agradezco a mi esposa el título de la conferencia, «Ciencia y sensibilidad», que ya ha sido plagiado nada menos que por una revista de supermercado, ante lo cual no sé qué medidas tomar.) También he utilizado párrafos de este libro en artículos publicados en el *Independent!*, el *Sunday Times* y el *Observer*. Cuando se me concedió el Premio Internacional Cosmos en 1997 elegí «El cooperador egoísta» como título para mi discurso de aceptación, que dicté tanto en Tokyo como en Osaka. Algunas partes de esta conferencia han sido reelaboradas y ampliadas en el capítulo 9 del mismo título. Algunas partes del capítulo 1 proceden de mis conferencias de Navidad de la Institución Real.

El libro se ha beneficiado mucho de las constructivas críticas vertidas sobre un borrador previo por Michael Rodgers, John Catalano y lord Birkett. Michael Birkett se ha convertido en nú lector profano ideal. Su ingenio académico hace que sea un placer leer sus comentarios críticos por derecho propio. Michael Rodgers fue el editor de mis tres primeros libros y, por deseo mío y generosidad suya, también ha desempeñado un papel importante en los tres últimos. Querría agradecer a John Catalano no sólo sus útiles comentarios, sino también su <http://www.spacelab.net/~catalj/home.html>, cuya excelencia (que no tiene nada que ver conmigo) podrán apreciar todos los que vayan allí. Stefan McGrath y John Radziewicz, editores respectivamente en Pen-guin y Houghton Mifflin, me ofrecieron su ánimo paciente y consejos literarios que valoro mucho. Sally Holloway trabajó sin descanso y de buena gana en la corrección final del original. Gracias también a Ingrid Thomas, Bridget Muskett, James Randi, Nicholas Davies, Daniel Dennett, Mark Ridley, Alan Grafen, Juliet Dawkins, Anthony Nuttall y John Batchelor.

Mi esposa, Lalla Ward, ha criticado cada capítulo una docena de veces en varios borradores, y con cada lectura me he beneficiado de su oído de actriz, sensible al lenguaje y a sus cadencias. Cada vez que yo dudaba, ella creía en el libro. Su visión lo ha mantenido ligado, y no lo hubiera terminado sin su ayuda y su aliento. Se lo dedico a ella.

1

La anestesia de la familiaridad

Vivir ya es bastante milagroso.

Mervyn Peake, *The Glassblower*
[*El soplador de vidrio*] (1950)

Vamos a morir, y esto es una suerte. La mayoría de gente no tendrá oportunidad de morir porque nunca habrá nacido. Las personas que podrían haberse encontrado aquí en mi lugar y que nunca verán la luz del día son más numerosas que los granos de arena de Arabia. Estos fantasmas no nacidos seguramente incluyen poetas más grandes que Keats y científicos más grandes que Newton. Podemos asegurarlo porque el conjunto de individualidades posibles que permite nuestro ADN excede con mucho el de personas reales. Entre incontables posibilidades que podrían haberse materializado, como el lector y yo, en nuestra medianía, los que estamos aquí.

Moralistas y teólogos dan mucho peso al momento de la concepción, pues lo ven como el instante en que el alma comienza a existir. Si, como yo, el lector es indiferente a esta palabrería, todavía debe considerar ese instante concreto nueve meses antes de su nacimiento como el acontecimiento más decisivo en su trayectoria personal. Es el momento en que su conciencia se hizo de golpe trillones de veces más previsible que una fracción de segundo antes. Desde luego, el embrionario lector que comenzó a existir tenía todavía multitud de obstáculos que salvar. La mayoría de embriones concebidos terminan en un aborto temprano antes de que la madre advierta siquiera que estaban allí, y todos nosotros tenemos la suerte de no haber tenido el mismo destino. Por otra parte, hay algo más en la identidad personal aparte de los genes, como nos demuestran los gemelos idénticos (que se separan después del momento de la fecundación). No obstante, el momento en que

un espermatozoide concreto penetró en un óvulo concreto fue, en nuestra percepción retrospectiva privada, un momento de singularidad vertiginosa. Fue entonces cuando las posibilidades en contra de que el lector se convirtiera en una persona pasaron de una cifra astronómica a una cifra contable.

La lotería se inicia antes de que seamos concebidos. Nuestros padres tuvieron que encontrarse, y la concepción de cada uno de ellos fue tan improbable como la propia. Y así sucesivamente, remontándonos a nuestros cuatro abuelos y a nuestros ocho tatarabuelos, hasta un punto en el que ya no tiene sentido pensar. Desmond Morris abre su autobiografía, *Animal Days [Días de animales]* (1979), con su característica vena cautivadora:

Napoleón fue quien lo empezó todo. Si no hubiera sido por él, quizá yo no estuviera ahora aquí escribiendo estas palabras... porque fue una de sus balas de cañón, disparadas en la guerra peninsular contra España y Portugal, la que arrancó el brazo de mi tatarabuelo. James Morris, y alteró todo el curso de la historia de mi familia.

Morris cuenta que el forzado cambio de carrera de su antepasado tuvo algunos efectos decisivos que culminaron en su propio interés por la historia natural. Pero, realmente, no tenía por qué haberse preocupado. No hay «quizá» en ello. *Naturalmente* que Morris debe su misma existencia a Napoleón. Y lo mismo me ocurre a mí y al lector. Napoleón no tenía que arrancar el brazo de James Morris para sellar el destino del joven Desmond, y también el del lector y el mío. No ya Napoleón, sino el más humilde campesino medieval no tenía más que estornudar para afectar a algo que cambiara a su vez alguna otra cosa que, tras una larga reacción en cadena, hiciese que uno de nuestros antepasados en potencia no llegara a serlo y, en cambio, se convirtiera en el antepasado de alguna otra persona. No estoy hablando de las teorías del caos y de la complejidad que están en boga, sino simplemente de las estadísticas ordinarias de la causación. El hilo de eventos históricos del que pende nuestra existencia es tenue hasta el sobresalto.

Cuando se la compara con el intervalo de tiempo que nos es desconocido, ¡oh rey!, la actual vida de los hombres sobre la Tierra es

como el vuelo de un único gorrion a través del salón en el que, en invierno, vos os sentáis con vuestros capitanes y ministros. Entrando por una puerta y saliendo por la otra, mientras está dentro no le afecta la tormenta invernal; pero este breve intervalo de calma acaba en un momento, y el pájaro retorna al invierno de donde vino, desapareciendo de vuestra vista. La vida del hombre es similar; y de lo que la sigue, o de lo que ocurrió antes, somos absolutamente ignorantes.

Veda el Venerable, *A History of the English Church and People [Historia de la Iglesia y del pueblo de Inglaterra]* (731)

Éste es otro aspecto en el que somos afortunados. El universo tiene más de cien millones de siglos de antigüedad. Dentro de un tiempo comparable el Sol se hinchará hasta convertirse en una gigante roja que absorberá la Tierra. Cada uno de estos cien millones de siglos ha sido o será en su momento «el presente siglo». Cosa interesante, a algunos físicos no les gusta la idea de un «presente móvil», y lo consideran un fenómeno subjetivo para el que no encuentran cabida en sus ecuaciones. Pero lo que estoy haciendo es un razonamiento subjetivo. Lo que a mí me parece, y adivino que al lector le ocurre lo mismo, es que el presente se desplaza del pasado al futuro, como un círculo de luz que avanza lentamente a lo largo de una escala de tiempo gigantesca. Todo lo que la luz ha dejado atrás se encuentra a oscuras, la oscuridad del pasado muerto. Todo lo que hay por delante se encuentra en la oscuridad del futuro desconocido. Las posibilidades de que nuestro siglo sea el iluminado por el proyector son las mismas de que un penique lanzado al azar caiga sobre una hormiga concreta que se desplaza por la carretera que va de Nueva York a San Francisco. En otras palabras, es abrumadoramente probable que estemos muertos.

A pesar de esta conclusión, el lector ya habrá advertido que, de hecho, está vivo. Las personas a las que el círculo de luz ya ha sobrepasado y aquéllas a las que todavía no ha llegado no están en situación de leer un libro. Yo tengo la suerte añadida de estar en situación de escribirlo, aunque puede que ya no lo esté para cuando el lector lea estas palabras. En realidad, casi prefiero estar muerto. No se me interprete mal. Amo la vida y espero seguir vivo todavía durante bastante tiempo, pero todo autor desea que sus obras lleguen a un público lo más amplio

posible. Puesto que es probable que el total de la población futura supere por un amplio margen el número de mis contemporáneos, no puedo sino aspirar a estar muerto para cuando el lector esté leyendo estas palabras. Visto jocosamente, esto no es más que la esperanza de que mi libro tarde mucho en dejar de reeditarse. Pero lo que veo mientras escribo esto es que tengo la suerte de estar vivo, y lo mismo le digo al lector.

Vivimos en un planeta que es casi perfecto para nuestro modo de vida: ni demasiado cálido ni demasiado frío, caldeado por una luz solar agradable mientras gira calmadamente, suavemente hidratado; una fiesta verde y dorada de planeta. Por desgracia, también hay eriales y barriadas pobres, lugares en los que impera la miseria y el hambre. Pero echemos un vistazo a la competencia. Comparado con la mayoría de planetas, esto es el paraíso, y hay zonas de la Tierra que aún son paradisíacas desde cualquier punto de vista. ¿Cuál es la probabilidad de que un planeta elegido al azar tenga estas cualidades tan amigables? Incluso el cálculo más optimista nos diría que menos de una entre un millón.

Imagine el lector una nave espacial llena de exploradores durmientes, colonos potenciales ultracongelados procedentes de algún mundo distante. La nave podría estar cumpliendo una misión desesperada para salvar a la especie antes de que un cometa imparable, como el que eliminó a los dinosaurios, impacte en su planeta natal. ¿Cuáles son las posibilidades de que la nave espacial encuentre alguna vez un planeta tolerable para la vida? Si, en el mejor de los casos, sólo hay un planeta de cada millón que sea adecuado, y si se tardan siglos en viajar de una estrella a otra, es patéticamente improbable que la nave encuentre un refugio apto y, menos aún, seguro para su cargamento durmiente.

Pero imaginemos que el piloto robot de la nave tiene una suerte indecible y, después de millones de años, acierta a encontrar un planeta capaz de albergar vida: un planeta de temperatura moderada, bañado por una cálida luz estelar y refrescado por el oxígeno y el agua. Los pasajeros, nuevos Rip van Winkie,¹ se despiertan y salen de la nave

1. Personaje de una narración de Washington Irving, muy conocida en los países anglosajones, que se despierta después de un sueño de 20 años y advierte grandes cambios en el mundo que le rodea. (*N. del T.*)

tambaleándose. Después de un millón de años de sueño, contemplan un planeta fértil, con ríos Y cascadas rutilantes y prados lujuriantes, un mundo repleto de criaturas "que surcan una exuberancia verde y extraña. Nuestros viajeros caminan en trance, estupefactos, incapaces de dar crédito a sus sentidos no habituados o a su suerte.

Como ya he dicho, este relato implica una suerte increíble; es improbable que ocurra algo así. Ahora bien, ¿acaso no es esto lo que nos ha ocurrido a cada uno de nosotros? Nos hemos despertado después de un sueño de cientos de millones de años, desafiando las posibilidades astronómicas en contra. Admito que no venimos al mundo en una nave espacial, ni irrumpimos en él con la conciencia ya despierta, sino que acumulamos conocimiento gradualmente a lo largo de la infancia. El hecho de que descubramos lentamente nuestro mundo en lugar de aprehenderlo de golpe no le resta nada de su maravilla.

Sé que estoy haciendo trampa. Al hablar de suerte estoy poniendo la carreta delante de los bueyes. No es ningún accidente que la vida tal como la conocemos se encuentre en un planeta cuya temperatura, plu-viosidad y demás sean inmejorables. Si un planeta es apto para la evolución de alguna clase de vida, entonces las condiciones serán las idóneas para esa clase de vida. Pero en tanto que individuos seguimos siendo inmensamente afortunados. Somos unos privilegiados, y no sólo por poder gozar de nuestro planeta. Se nos ha concedido la oportunidad de comprender por qué nuestros ojos están abiertos, y por qué ven lo que ven, en el corto tiempo de que disponemos antes de que se cierren para siempre.

Aquí, me parece a mí, radica la mejor respuesta a esos tacaños de espíritu que andan siempre preguntando qué *utilidad* tiene la ciencia. En una de esas anécdotas míticas de autoría incierta, parece ser que cierto personaje le preguntó a Michael Faraday para qué servía la ciencia. «Señor», contestó Faraday, «¿para qué sirve un niño recién nacido?». Lo que Faraday (o Benjamín Frankiin, o quienquiera que fuese) quiso decir es que un bebé podía no reportar nada en el presente, pero tenía un gran potencial de cara al futuro. Me gusta pensar que quiso decir algo más: ¿qué utilidad tiene traer un niño al mundo si lo único que hace con su vida es trabajar para poder vivir? Si todo se juzga por lo «útil» que es (útil para seguir vivo, se entiende), entonces nos encontramos ante un argumento circular y fútil. Tiene que existir algún valor

añadido. Al menos una parte de la vida debería dedicarse a *vivirla*, y no sólo a trabajar para retrasar su final. Ésta es la razón por la que encontramos justificada la inversión del dinero de los contribuyentes en las artes. Es una de las justificaciones legítimas para la conservación de especies raras y edificios hermosos. Es nuestra contestación a esos bárbaros que piensan que los elefantes salvajes y las casas históricas sólo debieran conservarse si «se pagan el viaje». Lo mismo vale para la ciencia. Por supuesto que la ciencia se paga el viaje. La ciencia es útil, desde luego, pero esto no es *todo* lo que importa.

Después de un sueño de cien millones de siglos hemos abierto al fin los ojos en un planeta suntuoso, de colores rutilantes y repleto de vida. Dentro de algunas décadas deberemos cerrarlos de nuevo. ¿Qué manera de invertir nuestro breve tiempo bajo el sol puede ser más noble y esclarecedora que trabajar para comprender el universo y nuestro despertar en él? Así contesto cuando se me pregunta (cosa que, para mi sorpresa, ocurre con frecuencia) por qué me molesto en levantarme por las mañanas. En otras palabras, ¿no es triste irnos a la tumba sin habernos preguntado nunca por qué nacimos? ¿Quién, con ese pensamiento, no saltaría de la cama ávido de continuar descubriendo el mundo y felicitándose de formar parte del mismo?

La poetisa Kathleen Raine, que estudió ciencias naturales en Cambridge y se especializó en biología, encontró un consuelo parecido cuando era una joven despechada que buscaba desesperadamente un alivio para el dolor que la abrumbaba:

Entonces el cielo me habló en un lenguaje claro, Familiar como
el corazón, que el amor más cercano. El cielo le dijo a mi alma:
«¡Tienes lo que deseas!

»Ahora debes saber que has nacido junto con estas
nubes y vientos y estrellas y mares siempre en movimiento
y habitantes de los bosques. Ésta es tu naturaleza.

»Levanta de nuevo tu corazón sin miedo,
Duerme en la tumba, o respira en el aire vivo,
Este mundo lo compartes con la flor y con el tigre».²

«Pasión» (1943)

Existe una anestesia de la familiaridad, un sedante de la cotidianidad, que embota los sentidos y niebla la maravilla de la existencia. Para quienes no estamos dotados para lápoesía, vale la pena, aunque sea de vez en cuando, hacer un esfuerzo para sacudirse la anestesia. ¿Cuál es la mejor manera de combatir la indolente habituación que produce nuestro gateo gradual desde la infancia? Es obvio que no podemos volar hasta otro planeta, pero podemos recobrar la sensación de despertar a la vida en un mundo nuevo si contemplamos nuestro propio mundo desde perspectivas no familiares. Es tentador echar mano de un ejemplo fácil como una rosa o una mariposa, pero vayamos directamente al extremo más extraño y profundo. Hace años asistí a una conferencia de un biólogo especialista en pulpos y sus parientes, calamares y jibias. Recuerdo cómo expresó su fascinación por estos animales: «Miren», dijo, «ellos son los marcianos». ¿Ha visto alguna vez el lector un calamar cambiando de color?

A veces las imágenes de televisión se proyectan en grandes paneles de diodos emisores de luz (LED). En lugar de una pantalla fluorescente con un haz de electrones que la barre de un lado a otro, la pantalla LED es un gran conjunto de lucecitas controlables individualmente. La intensidad de cada luz puede aumentarse o disminuirse, de manera que, desde cierta distancia, toda la matriz resplandece con imágenes en movimiento. La piel del calamar se comporta como una pantalla LED. En lugar de luces, la piel del calamar está tapizada de minúsculos sacos de tinta. Cada saco posee fibras musculares para su contracción. Mediante cordeles de marioneta atados a cada paquete de músculos, el sistema nervioso del calamar puede controlar la forma y, por ende, la visibilidad de cada saco de tinta.

En teoría, si pudiéramos interceptar los nervios que llevan a los diferentes píxeles de tinta y estimularlos eléctricamente mediante un ordenador, podríamos proyectar películas de Charlie Chaplin sobre la piel del calamar. El calamar no hace eso, pero su cerebro controla las conexiones con precisión y rapidez, y las películas cutáneas³ que ex-

2. *Then the sky spoke to me in language clear, /familiar as the heart, than love more near. / The sky said to my soul, " You have what you desire! / "Know now that you are born along with these / clouds, winds, and stars. and ever-moving seas / and forest dwellers. This your natu re is. / "Lift up your heart again without fear, / sleep in the tomb, or breathe the living air, / this world you with the flower and with the tiger share. "*

3. Doble sentido intraducible: *skinflick* es, literalmente, película de piel, pero también filme pornográfico. (*N. de! T.*)

hibe son espectaculares. Ondas de color se desplazan por la superficie como nubes en un filme acelerado; ondulaciones y remolinos surcan la pantalla viva. El animal expresa sus cambios de humor a velocidad vertiginosa: es capaz de pasar en un segundo del pardo oscuro a un blanco fantasmal, y de modular rápidamente patrones de bandas y punteaduras entrelazadas. En lo que respecta a cambiar de color, los camaleones son, en comparación, unos aficionados.

El neurobiólogo norteamericano William Calvin es uno de los científicos que en la actualidad se dedican a pensar sobre qué es realmente el pensamiento. Como han hecho otros antes, insiste en la idea de que los pensamientos no residen en lugares concretos del cerebro, sino que son pautas cambiantes de actividad superficial, unidades que reclúan a las unidades vecinas en poblaciones que se convierten en un mismo pensamiento, y compiten de manera darwiniana con poblaciones rivales de pensamientos alternativos. Estas pautas cambiantes no son visibles, pero tengo la impresión de que si las neuronas se iluminaran al activarse la corteza cerebral se parecería a la superficie del cuerpo de un calamar. ¿Piensa un calamar con su piel? Cuando un calamar cambia de repente su modelo de color, suponemos que ello es una manifestación de un cambio de humor dirigida a otro calamar. Un cambio de color anuncia que el calamar ha pasado de un talante agresivo, por ejemplo, a uno temeroso. Es natural presumir que este cambio de talante tuvo lugar en el cerebro, y que el cambio de color es la manifestación visible de pensamientos internos, externalizados con fines comunicativos. La conjetura que se me ocurre es que quizá los pensamientos mismos del calamar residan en la propia piel. Si los calamares piensan con la piel, entonces son todavía más «marcianos» de lo que mi colega creía. Incluso si esta especulación es demasiado descabellada (y lo es), el espectáculo de sus ondeantes cambios de color es lo bastante extraño para hacernos salir de nuestra anestesia de la familiaridad.

Los calamares no son los únicos «marcianos» que tenemos al lado mismo de la puerta. Piénsese en las grotescas caras de los peces abisales; en los ácaros del polvo, incluso más terroríficos si no fueran tan diminutos; en los tiburones ballena, simplemente terribles. Piénsese en los camaleones, que lanzan su lengua como una catapulta, con sus ojos sobre tórrelas giratorias y su paso lento y frío. También podemos cap-

tar esa sensación de «otro mundo extraño» de manera igualmente efectiva mirando hacia nuestro interior, a las células que constituyen nuestro propio cuerpo. Una célula no es simplemente una bolsita de jugo. Está repleta de estructuras sólidas, laberintos de membranas replegadas de forma intrincada. Existen alrededor de 100 billones de células en un cuerpo humano, y el área total de estructuras membranosas en nuestro interior suma más de 80 hectáreas. Una granja ciertamente respetable.

¿Qué hacen todas éstas membranas? Parecen rellenar la célula como guata, pero esto no es todo. Gran parte de las hectáreas plegadas se dedica a líneas de producción química, con cintas transportadoras, cientos de fases en cascada, cada una de las cuales conduce a la siguiente en secuencias organizadas con precisión, y accionado todo el conjunto por ruedas dentadas químicas que giran rápidamente. El ciclo de Krebs, el engranaje de 9 dientes responsable en gran parte de que tengamos energía disponible, gira a unas 100 revoluciones por segundo, y se repite miles de veces en cada célula. Los engranajes químicos de esta clase se encuentran alojados en las mitocondrias, cuerpos minúsculos parecidos a bacterias que se reproducen por su cuenta en el interior de nuestras células. Como veremos, hoy se acepta que las mitocondrias, junto con otras estructuras celulares vitales, no sólo parecen bacterias sino que descienden directamente de bacterias ancestrales que renunciaron a su libertad hace mil millones de años. Cada uno de nosotros es una ciudad de células, y cada célula es una aldea de bacterias. El lector es una gigantesca megalópolis bacteriana. ¿No levanta esto el manto de la anestesia?

Mientras que el microscopio ayuda a nuestras mentes a internarse en las extrañas galerías de las membranas celulares y el telescopio nos traslada a galaxias lejanas, otra manera de salir de la anestesia es retroceder con la imaginación a través del tiempo geológico. Es la edad inhumana de los fósiles lo que nos hace caer de espaldas. Tomamos un trilobite y los libros nos dicen que tiene 500 millones de años de antigüedad. Pero esta edad está más allá de nuestra comprensión. Nuestro cerebro ha evolucionado para comprender las escalas de tiempo de nuestra propia vida. Segundos, minutos, horas, días y años nos resultan fáciles de evaluar. Podemos habérmolas incluso con los siglos. Pero cuando llegamos a los milenios nuestra espina dorsal comienza a estre-

mecerse. Los mitos épicos de Hornero; las gestas de los dioses griegos Zeus, Apolo y Artemisa; de los héroes judíos Abraham, Moisés y David, y su terrible dios Yahvé; de los antiguos egipcios y su dios sol Ra: todos ellos inspiran a los poetas y nos dan esa *frisson* de antigüedad inmensa. Es como si a través de nieblas fantasmagóricas atisbáramos los ecos ajenos de la antigüedad. Pero, en la escala de tiempo de nuestro trilobite, todo eso ocurrió ayer mismo.

Se han ofrecido muchas escenificaciones, y yo voy a ensayar otra. Escribamos la historia de un año en una única hoja de papel. Esto no permite entrar en demasiados detalles. Viene a ser como el sucinto «resumen del año» que los periódicos sacan a relucir el día 31 de diciembre, en el que cada mes merece sólo unas pocas frases. Escribamos después en otra hoja de papel el resumen del año anterior, y así sucesivamente, al ritmo de un año por hoja. Encuadernemos las hojas en un libro y numerémoslas. *Decline and Fall of the Roman Empire [Decadencia y caída del Imperio Romano]* (1776-1788), de Gibbon, abarca unos 13 siglos en seis volúmenes de unas 500 páginas cada uno, de manera que cubre el terreno aproximadamente al ritmo del que estamos hablando.

«Otro maldito libro, grueso y cuadrado. ¡Siempre garabateando, garabateando y garabateando! ¿Eh, Señor Gibbon?»

William Henry, primer duque de Gloucester (1829)

Este espléndido volumen que es *The Oxford Dictionary of Quotations [Diccionario de citas de Oxford]* (1992), del que acabo de copiar esta observación, es asimismo un maldito libro grueso y cuadrado, que tiene el tamaño más o menos adecuado para retrotraernos a los tiempos de la reina Isabel I. Tenemos un patrón aproximado de tiempo: 10 cm de grosor de libro para registrar la historia de un milenio. Una vez establecida nuestra norma, sumerjámonos en el ajeno mundo del tiempo geológico profundo. Coloquemos el libro del pasado más reciente plano sobre el suelo, y después amontonemos sobre él la pila de libros de los siglos anteriores. Ahora coloquémonos junto al montón de libros a modo de vara de medir viva. Si queremos leer acerca de Jesús,

por ejemplo, deberíamos seleccionar un volumen situado a 20 cm del suelo, justo por encima del tobillo.

Un famoso arqueólogo desenterró a un guerrero de la edad del bronce con una máscara facial magníficamente conservada y exclamó alborozado: «He contemplado la faz de Agamenón». Manifestaba así poéticamente su reverencia por haber penetrado en la antigüedad legendaria. Para encontrar a Agamenón en nuestro rintero de libros, tendríamos que agacharnos hasta un nivel situado hacia la mitad de las espinillas. En algún lugar cercano encontraríamos Petra («Una ciudad rosa y roja, la mitad de antigua que el tiempo»), Ozimandias, rey de reyes («Contemplad mis obras, vosotros los poderosos, y abandonad la esperanza»)⁴ y esa enigmática maravilla del mundo antiguo, los jardines colgantes de Babilonia. Ur de Caldea y Uruk, la ciudad del legendario héroe Gilgamesh, tuvieron su día un poco antes, y encontraríamos relatos de su fundación a un nivel algo más cerca de nuestras rodillas. Por ahí se encontraría la más antigua de las fechas, según el arzobispo del siglo xvii James Ussher, quien calculó que el 4004 a. de C. era la fecha de la creación de Adán y Eva.

La domesticación del fuego es uno de los grandes hitos de nuestra historia: de ella se derivó la mayor parte de la tecnología. ¿A qué altura de nuestra pila de libros se encuentra la página en la que se registra este descubrimiento épico? La respuesta es toda una sorpresa si se piensa que podríamos sentarnos cómodamente sobre el montón de libros que abarca toda la historia documentada. Las trazas arqueológicas sugieren que el uso del fuego fue descubierto por nuestro antepasado *Homo erectus*, aunque no sabemos si hacía fuego o simplemente lo mantenía encendido. De esto hace medio millón de años, de manera que para consultar el volumen correspondiente de nuestra analogía tendríamos que trepar hasta un nivel ligeramente superior al de la Estatua de la Libertad. Una altura vertiginosa si se tiene en cuenta que Prometeo, el legendario suministrador del fuego, es mencionado por primera vez algo por debajo de nuestro tobillo en nuestra pila de libros. Para leer acerca de *Lucy* y nuestros antepasados australopitecinos africanos tendríamos que trepar a más altura que la de cualquier edificio de

4. *Look on my works, ye Mighty, and despair!* Del poema del mismo título («Ozymandias») de Percy Bysshe Shelley. (*N. del T.*)

Chicago. La biografía del antepasado común que compartimos con los chimpancés sería una frase en un libro situado a una altura doble que la anterior.

Pero nuestro viaje en busca del trilobite no ha hecho más que empezar. ¿Qué altura debería tener el rimero de libros para acomodar la página en la que se celebra rutinariamente la vida y la muerte de este artrópodo en su somero mar del Cámbrico? La respuesta es unos 56 kilómetros. No estamos acostumbrados a tratar con alturas como ésta. La cumbre del monte Everest está a menos de 9 kilómetros sobre el nivel del mar. Podemos hacernos una idea de la edad del trilobite si situamos el montón de libros a 90 grados sobre el suelo. Imagínese el lector un estante de libros tres veces más largo que la isla de Manhattan, abarrotado de volúmenes del tamaño de *La decadencia y caída* de Gibbon. Abrirse camino leyendo hasta el trilobite, aunque cada año ocupe sólo una página, sería más laborioso que deletrear los 14 millones de volúmenes de la Biblioteca del Congreso. Pero incluso el trilobite es joven comparado con la edad de la vida misma. Las vidas químicas arcaicas de los primeros organismos, los antepasados comunes del trilobite, las bacterias y nosotros mismos, estarían registradas en el volumen 1 de nuestra saga, situado en el extremo opuesto de un estante maratoniano que se extendería desde Londres hasta las fronteras de Escocia, o bien atravesaría Grecia desde el Adriático al Egeo.

Puede que estas distancias sigan siendo irreales. El arte de concebir grandes números mediante analogías consiste en no sobrepasar la escala de lo que las personas pueden comprender. De lo contrario, la analogía no mejorará nuestra perspectiva. Abrirse camino leyendo a través de una biblioteca de historia cuyos volúmenes ocupan una estantería que va de Roma a Venecia es una tarea casi tan incomprensible como la cifra desnuda de 4000 millones de años.

He aquí otra analogía. Extienda el lector completamente los brazos para abarcar toda la evolución desde su origen (en la punta de los dedos de la mano izquierda) hasta la actualidad (en la punta de los dedos de la mano derecha). En todo el trecho que va desde la mano izquierda hasta bien pasado el hombro derecho, la vida no consiste en otra cosa que bacterias. La vida pluricelular e invertebrada surge en algún punto en torno al codo derecho del lector. Los dinosaurios aparecen en medio de la palma de la mano derecha, y se extinguen hacia la última articu-

lación del dedo. Toda la historia de *Homo sapiens* y de nuestro predecesor *Homo erectus* está incluida en el grosor de la punta de una uña cortada. En cuanto a la historia documentada: los sumerios, los babilonios, los patriarcas judíos, las dinastías faraónicas, las legiones romanas, los padres cristianos, las leyes inmutables de los medos y persas;

Troya y los griegos. Helena, Aquiles y Agamenón; Napoleón y Hitler, los Beatles y Bill Clinton; ellos y todos los que los conocieron serían arrastrados por una leve pasada de una lima para uñas.

A los muertos se les olvida rápidamente,
Son mucho más numerosos que los vivos,
pero ¿dónde están sus huesos?
Por cada hombre vivo hay un millón de muertos,
¿Se ha ido su polvo a la tierra que no se verá nunca?
No habrá aire para respirar, con un polvo tan espeso,
No habrá espacio para que el viento sople ni para que la lluvia caiga;
La Tierra será una nube de polvo, un suelo de huesos, Sin siquiera lugar para
nuestros esqueletos.⁵

Sacheverell Sitweil, «La tumba de Agamenón» (1933)

No es que tenga importancia, pero el tercer verso de Sitweil es inexacto. Se ha estimado que la población humana actual supone una proporción sustancial de los seres humanos que han vivido en todos los tiempos. Pero lo único que refleja esto es el poder del crecimiento exponencial. Si contamos generaciones en lugar de cuerpos, y especialmente si nos remontamos más allá de la historia de la humanidad, I hasta el inicio de la vida, el sentimiento de Sacheverell Sitweil cobra nueva fuerza. Supongamos que cada individuo de nuestra ascendencia femenina directa, desde la primera floración de la vida pluricelular, hace poco más de quinientos millones de años, hubiera muerto sobre la tumba de su madre antes de fosilizarse. Como en las capas sucesivas de la ciudad enterrada de Troya, habría mucha compresión, de modo

5. *The poor are fast forgotten, / They outnumber the living, but where are all their bones? / For every man alive there are a million dead, / Has their dust gone into earth that it is never seen? / There should be no air to breathe, with it so thick, / No space for wind to blow, nor rain to fall; / Earth should be a cloud of dust, a soil of bones, / With no room even, for our skeletons.*

que podemos suponer que cada fósil de la serie queda aplastado hasta formar una torta de 1 cm de grosor. ¿Qué potencia de roca necesitaríamos para acomodar nuestro registro fósil continuo? La respuesta es que la roca debería tener unos 1000 km de espesor. Esto es diez veces más grueso que la corteza terrestre.

El Gran Cañón, cuyas rocas, desde la más profunda a la más somera, abarcan la mayor parte del periodo que estamos considerando, tiene sólo unos dos kilómetros de profundidad. Si los estratos del Gran Cañón estuvieran atestados de fósiles sin nada de roca entre ellos, en este espesor sólo habría espacio para una sexcentésima parte de las generaciones muertas sucesivamente. Estos cálculos ayudan a poner en proporción las demandas de los fundamentalistas, que exigen una serie «continua» de fósiles que cambien gradualmente para aceptar el hecho de la evolución. Simplemente, no hay espacio suficiente en la corteza terrestre para tal lujo, y por varios órdenes de magnitud. Se mire como se mire, sólo una mínima proporción de los organismos que han existido ha tenido la suerte de fosilizarse. Como he dicho antes, yo lo consideraría un honor.

El número de muertos supera con mucho el de los que vivirán. La noche de los tiempos sobrepasa con mucho el día, y ¿quién sabe cuando fue el equinoccio? Cada hora se añade a esta aritmética actual, que apenas se para un momento... ¿Quién sabe si los mejores hombres serán conocidos, o si no olvidaremos a personas más notables que cualesquiera de las que recordamos en la relación conocida del tiempo?

Sir Thomas Browne, *Urne Buriall* [*Sepultura en urna*] (1658)

El salón de los duques

Puedes moler sus almas en idéntico molino, Puedes
unirlas, en corazón y rostro;
Pero el poeta seguirá todavía al arco iris, Y su herma-
no seguirá al arado.'

John Boyie O'Reilly (1844-90),

«El tesoro del arco iris»

Abrirse paso a través de la anestesia de la familiaridad es lo que mejor hacen los poetas. Es su trabajo. Pero demasiados poetas, y durante demasiado tiempo, han ignorado la mina de oro de inspiración que ofrece la ciencia. W.H. Auden, guía de su generación, tenía una simpatía halagadora hacia los científicos, pero incluso él destacaba su lado práctico, comparándolos (para su ventaja) con los políticos, y pasaba por alto las posibilidades poéticas de la ciencia misma.

Los verdaderos hombres de acción de nuestro tiempo, los que transforman el mundo, no son los políticos y hombres de estado, sino los científicos. Por desgracia, la poesía no puede festejarlos, porque sus hazañas tienen que ver con las cosas, no con las personas y, por ello, carecen de habla. Cuando me encuentro en compañía de científicos me siento como un cura andrajoso que, por error, se ha extraviado en un salón lleno de duques.

«El poeta y la ciudad», *La mano del teñidor* (1963)

Resulta irónico que esa misma sensación es la que yo y muchos otros científicos tenemos cuando estamos en compañía de poetas. En realidad (y volveré a este punto) ésta es probablemente la evaluación normal que nuestra cultura hace de las posiciones relativas de científí-

1. *You may grind their souls in the self-same mill, / You may bind them, heart and bro w; / But the poet will follow the rainbow stíll, /And his brother will follow the plow.*

cos y poetas, y quizá por eso Auden se molestó en afirmar lo contrario. Pero ¿por qué fue tan explícito acerca de que la poesía no puede celebrar a los científicos y sus hazañas? Los científicos pueden transformar el mundo de manera más efectiva que los políticos y los hombres de estado, pero esto no es todo lo que hacen, y ciertamente no todo lo que podrían hacer. Los científicos amplían y transforman nuestra concepción del universo. Ayudan a la imaginación a remontarse hasta el cálido nacimiento del tiempo, y a adelantarse hasta el frío eterno; o, en palabras de Keats, a «saltar directamente hacia la galaxia». ¿Acaso nuestro mudo universo no es un tema estimable? ¿Por qué razón un poeta habría de festejar sólo a las personas, y no a la lenta molienda de las fuerzas naturales que las crearon? Darwin se atrevió a hacerlo, pero sus talentos estaban en otra parte;

Es interesante contemplar una ribera enmarañada, revestida de multitud de plantas de muchas clases, con aves cantando en los matorrales, con insectos diversos revoloteando y con gusanos que se arrastran por entre la tierra húmeda; y reflexionar que estas formas primorosamente construidas, tan distintas entre sí y que dependen unas de otras de manera tan compleja, han sido todas producidas por leyes que actúan en derredor nuestro... Así, de la guerra de la naturaleza, del hambre y de la muerte, se sigue la producción de los objetos más elevados que somos capaces de concebir, a saber, la producción de los animales superiores. Hay grandeza en la concepción de que la vida, con sus diversos poderes, se insufló originalmente en unas pocas formas o en una sola; y mientras este planeta ha ido girando según la ley inmutable de la gravitación, a partir de un comienzo tan sencillo evolucionaron y siguen evolucionando incontables formas, cada vez más bellas y maravillosas.

El origen de las especies (1859)

Los intereses de William Blake eran religiosos y místicos pero, palabra por palabra, me gustaría haber escrito la siguiente famosa cuarteta, y si lo hubiera hecho mi inspiración y significado hubieran sido muy diferentes.

Ver un mundo en un grano de arena
Y un cielo en una flor silvestre
Sostener el infinito en la palma de tu mano Y la eternidad
en una hora.²

«Augurios de inocencia» (aprox. 1803)

La estrofa puede leerse como un canto a la ciencia, al círculo de luz en movimiento, a la domesticación del espacio y el tiempo, a lo macroscópico construido a partir de la granulosidad cuántica de lo microscópico, una flor solitaria como miniatura de toda la evolución. Los motivos de asombro, reverencia y maravilla que condujeron a Blake al misticismo (y a otras figuras menores a la superstición paranormal, como veremos), son precisamente los que a otros nos han conducido a la ciencia. Nuestra interpretación es distinta, pero nuestro estímulo es el mismo. El místico se contenta con solazarse en la maravilla y recrearse en un misterio que no estamos «destinados» a comprender. El científico siente el mismo asombro, pero su inquietud le impide contentarse; reconoce que el misterio es profundo, y luego añade: «Pero estamos trabajando en ello».

Blake no amaba la ciencia, incluso la temía y la despreciaba:

Para Bacon y Newton, enfundados en lúgubre acero, sus terrores cuelgan
Como flagelos de hierro sobre Albión; razonando como enormes serpientes
Arrolladas alrededor de mis piernas...³

«Bacon, Newton y Locke», *Jerusalem* (1804-1820)

¡Qué desperdicio de talento poético! Y si, como seguro insistirán los comentaristas en boga, una motivación política subyacía tras su poema, sigue siendo un desperdicio, porque la política y sus preocupaciones son, en comparación, transitorias e insignificantes. Mi tesis es que los poetas podrían hacer mejor uso de la inspiración que propor-

2. *To see a word in a grain of sand / And a heaven in a wild flower / Hold infinity in the palm of your hand / And eternity in an hour.*

3. *For Bacon and Newton, sheath 'd in dismal steel, their terrors hang / Like iron scourges over Albion: Reasonings like vast Serpents / Infold around my limbs...*

ciona la ciencia y que, al mismo tiempo, los científicos deberían tender la mano al gremio que estoy identificando (por falta de una palabra mejor) con los poetas.

No se trata, desde luego, de declamar la ciencia en verso. Los pareados rimados de Erasmus Darwin, el abuelo de Charles, aunque tuvieron una acogida sorprendentemente buena en su tiempo, no mejoran la ciencia. Tampoco se trata de que (a menos que tengan el talento de un Carl Sagan, un Peter Atkins o un Loren Eiseley) los científicos tengan que cultivar un estilo de prosa deliberadamente poética en sus exposiciones. La claridad simple y sobria será suficiente, porque los hechos y las ideas hablan por sí solos. La poesía está en la ciencia misma.

Los poetas pueden ser oscuros, a veces por buenos motivos, y reclaman justamente que se les exima de la obligación de explicar sus versos. «Dígame, señor Eliot, ¿de qué manera mide uno su vida con cucharillas de café?» no sería la mejor manera de iniciar una conversación; pero un científico, justamente, espera que se le hagan preguntas equivalentes. Por utilizar algunos temas de mis libros: ¿en qué sentido puede un gen ser egoísta? ¿Qué es exactamente lo que fluye del río que sale del Edén? Todavía aclaro, cuando se me pide, el significado del monte Improbable, y cuan lenta y gradualmente se escala el mismo. Nuestro lenguaje debe esforzarse por iluminar y explicar, y si no conseguimos transmitir lo que queremos decir, debemos buscar otro enfoque. Pero, sin perder lucidez, de hecho con lucidez añadida, debemos reclamar para la ciencia real ese estilo de maravilla reverente que emocionó a místicos como Blake. La ciencia real tiene todas las cualidades para producir ese hormigueo en la espina dorsal que, a un nivel inferior, atrae a los admiradores de series televisivas tan populares como *Star Trek* y *Doctor Who*, y que, al nivel más bajo de todos, ha sido lucrativamente secuestrado por astrólogos, clarividentes y psíquicos televisivos.

El secuestro por los pseudocientíficos no es la única amenaza a nuestro sentido de la maravilla. Otra es la «estupidización» populista, de la que luego hablaré. Una tercera es la hostilidad de algunos académicos sofisticados. Una moda caprichosa ve la ciencia como uno de tantos mitos culturales, no más verdadero ni válido que los mitos de cualquier otra cultura. En Estados Unidos esta moda está alimentada por un sentimiento de culpabilidad justificado hacia el tratamiento histórico de los

nativos norteamericanos. Pero las consecuencias pueden ser ridículas; tal es el caso del Hombre de Kennewick.

El Hombre de Kennewick es un esqueleto descubierto en el estado de Washington en 1996, y cuya edad, estimada por el método del carbono radiactivo, es de más de 9000 años. Los antropólogos estaban intrigados por ciertos rasgos anatómicos que indicaban que podía no estar relacionado con los amerindios típicos, y por lo tanto podía representar una migración antigua y distinta a través de lo que ahora es el estrecho de Bering, o incluso desde Islandia. Cuando se disponían a realizar pruebas de ADN de suma importancia, las autoridades legales se apropiaron del esqueleto con la pretensión de cederlo a representantes de las tribus indias locales, que propusieron enterrarlo e impedir cualquier estudio ulterior. Naturalmente, hubo una protesta generalizada por parte de la comunidad científica y arqueológica. Incluso si el Hombre de Kennewick es un amerindio de alguna clase, es muy improbable que tenga afinidades con cualesquiera de las tribus que viven casualmente en la misma región 9000 años después.

Los nativos norteamericanos tienen una fuerza legal impresionante, y «El Antiguo» podría haber sido cedido a las tribus locales de no ser por un giro inesperado. La Asamblea Popular Asatru, un grupo de adoradores de los dioses escandinavos Tor y Odín, interpuso una reclamación legal afirmando que el Hombre de Kennewick era en realidad un vikingo. Esta secta nórdica, cuyo ideario puede consultarse en el número de verano de 1997 de la publicación de magia y misterio *The Runestone*, obtuvo el permiso de las autoridades para realizar una ceremonia religiosa sobre los huesos. Pero esto enfadó a la comunidad Yakama, cuyo portavoz temía que el rito vikingo pudiera «impedir que el espíritu del Hombre de Kennewick encontrara su cuerpo». La disputa entre indios y escandinavos podría zanjarse mediante el estudio del ADN, y los nórdicos están completamente dispuestos a aceptar esta prueba. El estudio científico de estos restos arrojaría una luz fascinante sobre la cuestión de los primeros pobladores de América. Pero los cabecillas indios rechazan la idea misma de investigar esta cuestión, porque creen que sus antepasados han vivido en Norteamérica desde la creación. Como dice Armand Minthorn, líder religioso de la tribu Umatilla: «Por nuestras tradiciones orales, sabemos que nuestro pueblo ha formado parte de esta tierra desde el principio de los tiempos.

No creemos que nuestro pueblo migrara aquí desde otro continente, como afirman los científicos».

Quizá la mejor política para los arqueólogos sería que se declararan una religión y convirtieran la prueba del ADN en su tótem sacramental. Por chistoso que parezca, éste es posiblemente el único recurso que funcionaría en el clima estadounidense de finales del siglo xx. Si uno dice: «Mire, a partir de la datación por carbono radiactivo, del ADN mitocondrial y del estudio arqueológico de la cerámica, hay pruebas abrumadoras de que la situación es X», no llegará a ninguna parte. Pero si dice: «Es una creencia fundamental e incuestionable de mi cultura que la situación es X», merecerá inmediatamente la atención de un juez.

También será escuchado por muchos miembros de la comunidad académica que, a finales del siglo xx, han descubierto una nueva forma de retórica anticientífica, a veces llamada «crítica posmoderna» de la ciencia. El análisis más acabado y demoledor de este tipo de cosa es el espléndido libro de Paúl Gross y Norman Levitt *Higher Superstition: The Academic Left and its Quarrels with Science* [*Superstición superior; La izquierda académica y sus pependencias con la ciencia*] (1994). El antropólogo norteamericano Matt Cartmill resume así el credo básico:

Quienquiera que afirme que tiene conocimiento objetivo de algo está intentando controlar y dominar al resto de nosotros... No existen hechos objetivos. Todos los supuestos «hechos» están contaminados por teorías, y todas las teorías están infestadas por doctrinas morales y políticas... Por lo tanto, cuando algún tipo enfundado en una bata de laboratorio te dice que tal y cual es un hecho objetivo... es que tiene un programa político escondido bajo su manga blanca y almidonada.

«Oprimido por la evolución», revista *Discover* (1998)

Hay incluso unos cuantos quintacolumnistas dentro de la propia ciencia que sostienen las mismas opiniones, y las utilizan para hacernos perder el tiempo a los demás.

La tesis de Cartmill es que en el momento presente existe una alianza inesperada y perniciosa entre la derecha religiosa fundamenta-

lista e ignorante y la izquierda académica refinada. Una estrafalaria manifestación de esta alianza es su oposición conjunta a la teoría de la evolución. La de los fundamentalistas se explica por sí sola. La de la izquierda es una mezcla de hostilidad a la ciencia en general y de «respeto» (palabra equívoca de nuestra época) a los mitos tribales de la creación, además de diversos programas políticos. Estos extraños compañeros de cama comparten una misma preocupación por la «dignidad humana» y se ofenden cuando se trata a los seres humanos como «animales». En su artículo «El nuevo creacionismo», publicado en 1997 en la revista *The Nation*, Barbara Ehrenreich y Janet McIntosh hablan en términos parecidos de lo que llaman «creacionistas seculares».

Los proveedores del relativismo cultural y de la «superstición superior» tienden a desdeñar la búsqueda de la verdad. Ello se deriva en parte de la convicción de que las verdades de cada cultura son diferentes (éste era el meollo de la historia del Hombre de Kennewick) y en parte de la incapacidad de los filósofos de la ciencia para ponerse de acuerdo sobre la noción misma de verdad. Existen, desde luego, dificultades filosóficas genuinas. Una verdad, ¿es sólo una hipótesis que hasta el momento no ha sido refutada? ¿Qué categoría tiene la verdad en el mundo extraño e incierto de la teoría cuántica? ¿Acaso hay algo que sea, en última instancia, verdadero? Por otra parte, ningún filósofo tiene inconveniente en utilizar el lenguaje de la verdad cuando se le acusa falsamente de un crimen, o cuando sospecha que su mujer le engaña. «¿Es cierto?» parece una pregunta razonable, y pocos de los que la plantean en su vida privada se sentirían satisfechos con sofismas que destrozan la lógica como respuesta. Puede que los que hacen experimentos mentales en el mundo cuántico no sepan en qué sentido es «verdad» que el gato de Schrodinger está muerto. Pero todo el mundo sabe lo que hay de cierto en la afirmación de que la gata de mi infancia, *Jane*, está muerta. Y hay montones de verdades científicas de las que lo único que afirmamos es que son verdaderas en este mismo sentido cotidiano. Si le digo al lector que los seres humanos y los chimpancés compartimos un antepasado común, éste puede dudar de la verdad de mi afirmación y buscar (en vano) evidencias de su falsedad. Pero ambos sabemos qué significaría que fuera verdadera y qué significaría que fuera falsa. Es de la misma categoría que «¿Es cierto que estaba usted en Oxford la noche del crimen?» y no de la categoría pro -

blemática de «¿Es cierto que un cuanto tiene posición?». Sí, el concepto de verdad plantea dificultades filosóficas, pero podemos recorrer un largo camino antes de que éstas tengan que preocuparnos. Alegar prematuramente supuestos problemas filosóficos es a veces una cortina de humo para la malicia.

La «estupidización» populista es otra clase muy distinta de amenaza a la sensibilidad científica. El «movimiento para la divulgación de la ciencia», suscitado en Norteamérica por la triunfante entrada de la Unión Soviética en la carrera espacial y en la actualidad impulsado (al menos en Gran Bretaña) por la alarma pública ante la reducción de las solicitudes para puestos científicos en las universidades, se está volviendo demótico. Las «semanas de la ciencia» y «quincenas de la ciencia» delatan una ansiedad entre los científicos por ser amados. Sombreros ridículos y voces juguetonas proclaman que la ciencia es divertida, divertida, divertida. «Personalidades» excéntricas efectúan explosiones y trucos que amilanan. Recientemente asistí a una sesión informativa en la que se urgía a los científicos a simular casos en galerías comerciales para atraer a la gente a los placeres de la ciencia. El orador nos aconsejaba que no hiciéramos nada que pudiera interpretarse como un extravío. Hay que hacer que la ciencia de uno sea «relevante» para la vida de la gente ordinaria, para lo que sucede en su propia cocina o cuarto de baño. Siempre que sea posible, hay que elegir materiales experimentales que la audiencia pueda comerse al final. En el último evento organizado por el mismo orador, el fenómeno científico que realmente cautivó la atención fue el orinal que vierte agua cuando uno se aparta. Se nos dijo que era mejor evitar la misma palabra «ciencia», porque la gente «de la calle» la considera amenazadora.

No tengo ninguna duda de que tal esupidización es efectiva si lo que se pretende es maximizar el recuento total de población que asiste al «evento». Pero cuando me quejo de que lo que se está comercializando no es ciencia auténtica, se me reprende por mi «elitismo» y se me dice que, en cualquier caso, es un primer paso necesario para atraer a la gente. Bueno, si me obligan a usar la palabra (yo no lo haría), puede que el elitismo no sea tan terrible. Hay una gran diferencia entre un esnobismo exclusivista y un elitismo integrador y halagüeño que intenta ayudar a la gente a levantar el vuelo y unirse a la élite. Mucho peor es la stupidización calculada, condescendiente y paternalista.

Cuando expresé estas opiniones en una reciente conferencia que di en Estados Unidos, al final un individuo, cuyo corazón blanco y masculino debía estar henchido de autosuficiencia política, tuvo la insultante impertinencia de sugerir que la estupidización podía ser necesaria para acercar la ciencia a «las minorías y las mujeres».

Me preocupa que esta promoción de la ciencia como algo divertido, juguetón y fácil almacene problemas para el futuro. La auténtica ciencia puede ser dura (o mejor desafiante, para expresarlo más positivamente), pero, como leer a los clásicos o tocar el violín, merece la pena. Si se atrae a los niños a la ciencia, o cualquier otra ocupación que valga la pena, con la promesa de diversión fácil, ¿qué harán cuando finalmente tengan que enfrentarse a la realidad? Los anuncios de reclutamiento para el ejército, con buen criterio, no prometen un picnic: se dirigen a jóvenes lo bastante diligentes para mantener el paso. «Diversión» emite un mensaje incorrecto y puede conferir a la ciencia un atractivo engañoso. También la literatura corre el peligro de verse socavada. Se seduce a estudiantes indolentes para que cursen unos desvalorizados «estudios culturales» con la promesa de que pasarán el tiempo desmontando melodramas televisivos, princesas de la prensa sensacionalista y «teletubbies». Como los estudios literarios legítimos, la ciencia puede ser dura y desafiante, pero, como los estudios literarios legítimos, la ciencia es maravillosa. La ciencia *puede* pagarse el viaje, pero, como el gran arte, no debería tener que hacerlo. Y no deberían hacer falta personajes excéntricos ni explosiones divertidas para persuadirnos del valor de una vida dedicada a investigar por qué existe la vida.

Temo haber sido demasiado negativo en este ataque, pero hay ocasiones en las que el péndulo se ha desviado más de la cuenta y necesita un fuerte impulso en el otro sentido para recuperar el equilibrio. *Por supuesto* que la ciencia es divertida, en el sentido de que es todo lo contrario de aburrida. Puede cautivar a una buena mente durante toda una vida. *Ciertamente*, las demostraciones prácticas pueden comunicar de manera más vivida las ideas y hacer que perduren en la mente. Desde las conferencias Michael Faraday de Navidad en la Institución Real hasta el Bristol Exploratory de Richard Gregory, los niños se ven estimulados por la experiencia de poder «tocar» la auténtica ciencia. Yo mismo he tenido el honor de impartir las conferencias de Navidad,

en su moderna forma televisada, y he empleado abundantes demostraciones del tipo «toca, toca». Faraday nunca cayó en la estupidización. Sólo atacó esa forma de prostitución populista que corrompe la maravilla de la ciencia.

Cada año se celebra en Londres una gran cena en la que se conceden los premios a los mejores libros de ciencia populares del año. Un premio es para los destinados a los niños, y recientemente lo ganó un libro sobre insectos y otros «bichos feos y horribles». Este lenguaje quizá no sea el mejor para despertar el sentido poético de la maravilla, pero seamos tolerantes y concedamos que puede haber otras maneras de interesar a los niños. Menos perdonables fueron las payasadas de la presidenta del jurado, una personalidad televisiva muy conocida (que recientemente se había pasado al lucrativo género de lo «paranormal»). Gritando con una frivolidad propia de un espectáculo circense, incitó a la numerosa audiencia (de adultos) a unirse a ella en un coro repetido de muecas audibles ante la contemplación de los horribles «bichos feos»: «¡lüüiargg! ¡Puaf! ¡Beeeeeh! ¡Ees!». Este tipo de diversión vulgar degrada la maravilla de la ciencia, y corre el riesgo de desalentar precisamente a las personas más calificadas para apreciarla e inspirar a otras: los poetas y literatos auténticos.

Por poetas, desde luego, quiero decir artistas de todo tipo. Miguel Ángel y Bach fueron remunerados por celebrar los temas sagrados de su época, y los resultados siempre impresionaran nuestros sentidos como sublimes. Pero nunca sabremos cómo podrían haber respondido estos genios a otros encargos. Mientras la mente de Miguel Ángel se deslizaba sobre el silencio «como una mosca patilarga sobre un río», ¿qué no hubiera pintado de conocer el interior de una neurona de una mosca patilarga? Piénsese en el *Dies irae* que podría haber compuesto Verdi si hubiera conocido la suerte que corrieron los dinosaurios cuando, hace 65 millones de años, un asteroide del tamaño de una montaña irrumpió rugiendo desde el espacio exterior a 15.000 kilómetros por hora para impactar en la península del Yucatán, y el mundo entero se oscureció. Intente el lector imaginar la «Sinfonía de la evolución» de Beethoven, el oratorio de Haydn sobre «El universo en expansión», o el poema épico de Millón *La Vía Láctea*. En cuanto a Shakespeare... Pero no hace falta apuntar tan alto. Los poetas menores serían un buen comienzo.

Puedo imaginar, en algún otro mundo
Estúpido por primitivo, muy lejos en el pasado
En esta inmovilidad atroz, que sólo jadeaba y zumbaba,
Que los colibríes se apresuraban por las alamedas.

Antes que nada tuviera un alma,
Mientras la vida era un movimiento de materia, medio inanimada,
Esta pequeña pizca se desportillaba en brillo
Y pasaba zumbando a través de los lentos, enormes
y suculentos tallos.

Creo que entonces no había flores,
En el mundo en el que el colibrí fulguraba delante de la creación.
Creo que perforaba las lentas venas vegetales con su largo pico.

Probablemente era grande
Como los musgos, y las lagartijas, dicen, fueron antaño grandes.
Probablemente era un monstruo punzante y terrorífico.

Lo observamos desde el extremo equivocado
del telescopio del Tiempo,
Por suerte para nosotros.⁴

Unrhyming Poems [Poemas sin rima], 1928

El poema de D.H. Lawrence sobre los colibríes es inexacto casi en todos sus detalles y, por lo tanto, superficialmente acientífico. A pesar de ello, no deja de ser una muestra pasable de cómo el tiempo geológico podría inspirar a un poeta. A Lawrence sólo le habrían faltado un par de clases de evolución y taxonomía para llevar su poema bajo el palio de la precisión, lo que no le habría restado nada de su poder cau-

4. / *can imagine, in some otherworld / Primeval-dumb, far back / in that most awful stillness, that only gasped and hummed, / Humming-birds raced down the avenues. / Before anything had a soul, / While life was a heave of matter, half inanimate, / This little bit chipped off in brilliance / And went whizzing through the slow, vast, succulent stems. / I believe there were no flowers then, / in the world were the humming-bird flashed ahead of creation. / I believe he pierced the slow vegetable veins with his long beak. / Probably he was big / As mosses, and little lizards, they say, were once big. / Probably he was a jabbing, terryfying monster. / We look at him through the wrong end of the telescope of Time, / Luckily for us.*

tivador y generador de reflexión como poema. Después de otra clase, Lawrence, hijo de minero, podría haber mirado con otros ojos su hogar de carbón, cuya energía fulgurante vio por última vez la luz del día (*fue* la luz del día) que caldeaba los helechos arbóreos del Carbonífero, para hundirse en la oscura bodega de la Tierra y permanecer sellada durante tres millones de siglos. Un obstáculo mayor hubiera sido la hostilidad de Lawrence ante lo que, equivocadamente, veía como el espíritu antipoético de la ciencia y los científicos, como cuando refunfunaba que

El conocimiento ha matado al Sol, convirtiéndolo en una bola de gas con manchas... El mundo de la razón y la ciencia... éste es el mundo seco y estéril en el que habita la mente abstracta.

Casi me cuesta admitir que, de todos los poetas, mi favorito sea ese confuso místico irlandés, William Butler Yeats. Ya anciano, su desesperado y vano anhelo de inspiración le llevó a repetir los viejos temas de su joven virilidad *de fin de siècle*. ¡Qué triste rendirse así, náufrago entre sueños paganos, desamparado entre las hadas y el aciago carácter irlandés de su juventud amanerada, cuando, a una hora de viaje de su torre, Irlanda albergaba el mayor telescopio astronómico de la época! Se trataba del reflector de 180 centímetros construido antes del nacimiento de Yeats por William Parsons, tercer conde de Rosse, en el castillo de Birr (y hoy restaurado por el séptimo conde). ¿Qué no hubiera hecho una simple ojeada a la Vía Láctea a través del ocular del «Levia-tán de Parsonstown» por el frustrado poeta que de joven había escrito estos versos inolvidables?

Tranquilo, tranquilo, corazón trémulo;
Recuerda la sabiduría de los viejos días:
Aquel que tiembla ante la llama y el diluvio,
Y los vientos que soplan a través de los caminos estrellados,
Deja que los vientos estrellados y la llama y el diluvio
Cubran todo y escóndete, porque él no forma parte
De la multitud solitaria y majestuosa.⁵

De *The Wind Among the Reeds* [*El viento entre los carrizos*] (1899)

Éstas señan unas últimas palabras magníficas para un científico, como lo sería, ahora que lo pienso, el propio epitafio del poeta: «Eché una mirada impasible / A la vida, a la muerte. / ¡Jinete, pasa de largo!». Pero, como Blake, Yeats aborrecía la ciencia y la despreciaba (de forma absurda) como el «opio de los suburbios», instándonos a «avanzar sobre la ciudad de Newton». Esto es triste, y es lo que me mueve a escribir mis libros.

También Keats se quejaba de que Newton había destruido la poesía del arco iris al explicarlo. Por una implicación más general, la ciencia es el aguafiestas de la poesía; seca y fría, melancólica, arrogante y carente de todo aquello que un joven romántico podría desear. Proclamar lo opuesto es uno de los propósitos de este libro, y aquí me limitaré a la especulación no comprobable de que Keats, como Yeats, podría haber sido un poeta aún más grande si hubiera acudido a la ciencia para encontrar inspiración.

Se ha dicho que la formación médica de Keats pudo haberle permitido reconocer los síntomas mortales de su propia tuberculosis, como cuando diagnosticó ominosamente su propia sangre arterial. La ciencia, para él, no habría sido portadora de buenas nuevas, de manera que no sorprende tanto que encontrara alivio en un mundo antiséptico de mitos clásicos, y se perdiera entre zamponas y náyades, ninfas y dríadas, igual que Yeats entre sus equivalentes celtas. Por irresistibles que encuentre a ambos poetas, espero que el lector me perdone por preguntarme si los griegos habrían reconocido sus leyendas en Keats, o los celtas las suyas en Yeats. ¿Estuvieron estos grandes poetas tan bien servidos por sus fuentes de inspiración como podrían haberlo estado? ¿Acaso el prejuicio contra la razón sobrecargó las alas de la poesía?

Mi tesis es que el espíritu de maravilla que llevó a Blake al misticismo cristiano, a Keats al mito arcádico y a Yeats a los fenianos⁶ y las hadas, es exactamente el mismo que impulsa a los grandes científicos; un espíritu que, si se reinyectara en los poetas en su versión científica,

5. *Be you still, be you still, trembling heart; / Remember the wisdom out of the old days: / Him who trembles before the flame and the flood, / And the winds that blow through the starry ways, / Let the starry winds and the flame and the flood / Cover over and hide, for he has no part / With the lonely, majestic multitude.*

6. Guerreros irlandeses legendarios, contemporáneos (siglos II y III) del rey Arturo y cuyas gestas eran comparables a las del mito artúrico. (*N. del T.*)

podría inspirar una poesía aún más grande. En favor de esta idea puedo aducir el género, menos elevado, de la ciencia ficción. Jules Verne, H.G. Wells, Olaf Stapledon, Robert Heinlein, Isaac Asimov, Arthur C. Clarke, Ray Bradbury y otros han utilizado la prosa poética para evocar el aspecto romántico de los temas científicos, ligándolos explícitamente en algunos casos con los mitos de la antigüedad. Lo mejor de la ciencia ficción me parece un género literario importante por derecho propio, injustamente menospreciado por algunos literatos pedantes. Más de un científico de renombre ha descubierto lo que yo llamo el espíritu de maravilla a través de una fascinación inicial por la ciencia ficción.

En la cota inferior del mercado de la ciencia ficción, ese mismo espíritu ha sido ultrajado con finalidades más siniestras, pero todavía puede discernirse el puente hacia la poesía mística y romántica. Al menos una religión importante, la cientología, fue fundada por un escritor de ciencia ficción, L. Ron Hubbard (cuyo artículo en el diccionario de citas de Oxford reza así: «Si de verdad quieres ganar un millón... lo más rápido es fundar tu propia religión»). Los adeptos del culto de la «Puerta del Cielo», muertos tras su suicidio colectivo, probablemente nunca supieron que la frase aparece dos veces en Shakespeare y otras dos en Keats, pero lo sabían todo de *Star Trek* y estaban obsesionados con esta serie. El lenguaje de su página en la red es una ridícula caricatura de la ciencia mal entendida, adornada con mala poesía romántica.

El culto a *Expediente X* ha sido defendido como inocuo porque, después de todo, es sólo ficción. A primera vista, es una defensa legítima. Pero la ficción reiterada (los culebrones, las series policiacas y similares) que, semana tras semana, presenta sistemáticamente una visión unilateral del mundo es justamente criticable. *Expediente X* es una serie de televisión en la que, cada semana, dos agentes del FBI se enfrentan a un misterio. Uno de los dos, la agente Scully, prefiere una explicación racional y científica; el otro, Mulder, acepta una explicación sobrenatural o que, como mínimo, glorifica lo inexplicable. El problema es que, de forma rutinaria e inexorable, la respuesta resulta ser siempre la explicación sobrenatural, o al menos el extremo «mulderiano» del espectro. Me dicen que, en los últimos episodios, incluso la escéptica agente Scully está empezando a ver tambalearse su confianza, y no me extraña.

Ahora bien, ¿no se trata acaso de ficción inocente? Pienso que tal defensa suena a hueca. Imagínese una serie de televisión en la que dos oficiales de policía resuelven un crimen cada semana. Siempre hay un sospechoso negro y un sospechoso blanco. Uno de los dos detectives siempre está predispuesto contra el sospechoso blanco, el otro contra el sospechoso negro; y, una semana sí y otra también, el sospechoso negro resulta ser el culpable. ¿Hay algo de malo en ello? ¡Después de todo, sólo es ficción! Por chocante que parezca, creo que la analogía es completamente justa. No estoy diciendo que la propaganda sobrenaturalista sea tan peligrosa o desagradable como la propaganda racista. Pero *Expediente X* suministra sistemáticamente una visión antirracional del mundo que, por su persistencia recurrente, es insidiosa.

Otra forma espúrea de la ciencia ficción converge en el mito falsificado, al estilo de Tolkien. Los físicos se codean con magos, extra-terrestres interplanetarios escoltan a princesas que montan unicornios en jamugas, estaciones espaciales de mil portañolas surgen de la misma niebla sobre la que asoman castillos medievales con cuervos (o incluso pterodáctilos) que dan vueltas alrededor de sus torrecillas góticas. La ciencia auténtica, o calculadamente modificada, es sustituida por la magia, que es la salida fácil.

La buena ciencia ficción no tiene tratos con los conjuros mágicos de los cuentos de hadas, sino que asume que el mundo es un lugar ordenado. Hay misterio, pero el universo no es frívolo ni ligero de dedos en su capacidad de cambio. Si uno pone un ladrillo sobre una mesa, allí se queda a menos que algo lo mueva, aunque uno se olvide de que está allí. No hay duendes ni espíritus que se dediquen a lanzarlo por ahí con intenciones malévolas o caprichosas. La ciencia ficción puede chapucear con las leyes de la naturaleza, afectando de forma premeditada y preferible a una ley cada vez, pero no puede abolir la legitimidad y seguir siendo buena ciencia ficción. Los ordenadores de ficción pueden volverse conscientemente malévolos o incluso, en las magistrales comedias científicas de Douglas Adams, paranoides; las naves estelares pueden autopropulsarse hasta galaxias distantes por medio de alguna pretendida tecnología futura, pero la decencia científica se mantiene esencialmente. La ciencia permite el misterio, pero no la magia; permite rarezas que superan la imaginación más desenfadada, pero no hechizos ni brujería, ni milagros baratos y fáciles. La mala ciencia fic-

ción pierde su asidero en la legitimidad moderada y la sustituye por el licencioso «todo vale» de la magia. La peor de la mala ciencia ficción se alia con lo «paranormal», ese otro hijo bastardo y gandul del sentido de la maravilla que debiera motivar la auténtica ciencia. La popularidad de esta clase de pseudociencia parece sugerir al menos la omnipresencia de dicho sentido de la maravilla, por mal que se aplique. Aquí reside el único consuelo que puedo encontrar en la obsesión premilenaria de los medios por lo paranormal, por el inmenso éxito de *Expediente X* y por los espectáculos televisivos en los que se nos hace creer que trucos rutinarios de magia violan la ley natural.

Pero volvamos al grato cumplido de Auden y a nuestra inversión del mismo. ¿Por qué algunos científicos se sienten como curas andrajosos entre duques literatos, y por qué tantas personas en nuestra sociedad los ven así? Estudiantes de ciencias de mi propia universidad me han hecho notar en ocasiones (con cierta nostalgia, porque en su cohorte la presión de los pares es fuerte) que su tema no se considera «fresco». Esto me lo demostró una joven y avispada periodista a la que conocí en una reciente serie de debates televisivos de la BBC. Parecía casi intrigada de conocer a un científico, pues, según me confesó, mientras estuvo en Oxford no conoció a ninguno. Su círculo los consideraba, desde la distancia, como «hombres grises», y se compadecían especialmente de su costumbre de levantarse de la cama antes del almuerzo. De todos los excesos absurdos, asistían a clase a las 9 de la mañana y después trabajaban en los laboratorios hasta el mediodía. Ese gran humanista y hombre de estado humanitario que fue Jawaharlal Nehru, como es propio del primer ministro de un país que no puede permitirse ocuparse de fruslerías, tenía una visión más realista de la ciencia.

Sólo la ciencia puede resolver los problemas del hambre y la pobreza, de la insalubridad y el analfabetismo, de la superstición y las costumbres y tradiciones letales, de los recursos enormes que se pierden, de un país rico habitado por gente que se muere de hambre... ¿Quién puede permitirse ignorar la ciencia hoy en día? Debemos buscar su apoyo en cada coyuntura... El futuro pertenece a la ciencia y a quienes se lleven bien con ella.⁷

(1962)

No obstante, la confianza con la que a veces los científicos afirman lo mucho que conocemos y lo útil que puede ser la ciencia puede desbordarse en arrogancia. Lewis Wolpert, el eminente embriólogo, admitió una vez que la ciencia es arrogante en ocasiones, pero luego añadió en voz baja que de hecho tiene motivos para serlo. Peter Medawar, Carl Sagan y Peter Atkins han dicho también cosas similares.

Arrogante o no, al menos aparentamos estar de acuerdo con la idea de que la ciencia avanza mediante la *refutación* de sus hipótesis. Konrad Lorenz, el padre de la etología, solía exagerar diciendo que esperaba refutar al menos una hipótesis favorita cada día antes del desayuno. Pero es cierto que los científicos, más que los abogados, los médicos o los políticos, por ejemplo, ganan prestigio entre sus iguales al admitir públicamente sus errores. Una de las experiencias formativas de mis años de estudiante universitario en Oxford tuvo lugar cuando un conferenciante norteamericano invitado presentó pruebas que refutaban de manera concluyente la teoría favorita de una venerable y muy respetada autoridad de nuestro departamento de zoología, la teoría que todos habíamos aprendido. Al final de la conferencia, el anciano se levantó, se dirigió a la parte frontal de la sala, estrechó calurosamente la mano del norteamericano y declaró, con tono sonoramente emotivo:

«Mi querido amigo, quiero darle las gracias. He estado equivocado durante los últimos quince años». Aplaudimos a rabiar. ¿Acaso existe otra profesión tan generosa hacia quienes admiten sus errores?

La ciencia avanza mediante la corrección de sus errores, y no esconde lo que aún no comprende. Pero lo que mucha gente percibe suele ser lo contrario. Cuando era columnista de *The Times*, Bernard Levin escribía esporádicamente diatribas contra la ciencia. El 11 de octubre de 1996 publicó una titulada «Dios, yo y el doctor Dawkins», con el subtítulo «Los científicos no lo saben y yo tampoco... pero al menos yo sé que no lo sé»; encima aparecía una caricatura mía como el Adán de Miguel Ángel que encontraba el dedo señalador de Dios. Pero, como cualquier científico afirmaría vigorosamente, está en la esencia de la ciencia saber qué es lo que no sabemos. Esto es precisa-

7. Mientras corrijo la copia del libro en agosto de 1998, no puedo dejar de pensar con tristeza que Nehru interpretaría la decisión de la India de realizar pruebas nucleares, de manera unilateral y desafiando a la opinión mundial, como un espantoso insulto a la ciencia y una profanación de su memoria y la del Mahatma Gandhi. (*N. del A.*)

mente lo que nos impulsa a averiguarlo. En una columna anterior, del 29 de julio de 1994, Bernard Levin se había burlado de la idea de los quarks («¡Que vienen los quarks! ¡Que vienen los quarks! ¡Corran si quieren salvar la vida!»). Después de algunos otros sarcasmos sobre la «noble ciencia» que nos ha traído los teléfonos móviles, los paraguas plegables y la pasta de dientes listada, pasó a una fingida seriedad:

¿Se comen los quarks? ¿Puede uno extenderlos sobre la cama cuando viene el frío?

Esta clase de preguntas no merecen que uno se moleste en responderlas, pero el metalúrgico de Cambridge Sir Alan Cottrell lo hizo unos días más tarde en una carta al director que sólo contenía dos frases:

Señor: Bernard Levin pregunta si los quarks se comen. Estimo que él devora 500. 000.000. 000.000. 000.000. 000.001 quarks cada día... Atentamente...

Admitir el propio desconocimiento es una virtud, pero complacerse en la ignorancia de las letras a una escala tal no sería tolerado por ningún editor. La ignorancia filistea de la ciencia todavía se considera lúcida e ingeniosa en algunos círculos. ¿Cómo explicar si no la siguiente bromita de un editor del *Daily Telegraph*? El diario informaba del hecho pasmoso de que un tercio de la población inglesa cree todavía que el Sol gira alrededor de la Tierra. En este punto el editor insertó una nota entre corchetes: «[¿Acaso no lo hace? Ed.]». Si una encuesta demostrara que un tercio del pueblo británico creía que Shakespeare había escrito *La Ilíada*, ningún editor fingiría humorísticamente su ignorancia de Hornero. Pero presumir de ignorancia científica e incompetencia matemática es socialmente aceptable. Me he quejado tantas veces de esto que debo parecer una plañidera, de modo que me permitiré citar a Melvyn Bragg, uno de los críticos de arte británicos más justamente respetados, autor de un libro sobre los científicos, *On Giant's Shoulders [A hombros de gigantes]* (1998).

Están también aquellos que son lo bastante afectados para decir que no saben nada de ciencia, como si de alguna manera eso los hi-

ciera superiores. Lo que los hace es más bien necios, y los sitúa en el extremo de la colilla de esa antigua tradición británica de esnobismo intelectual que considera todo conocimiento, especialmente la ciencia, como «comercio».

Sir Peter Medawar, ese bravucón premio Nobel a quien ya he citado, dijo algo similar acerca del «comercio», ridiculizando vividamente la aversión inglesa por todo lo que es conocimiento práctico.

Se dice que en la antigua China los mandarines permitían que las uñas de sus dedos (o al menos una de ellas) crecieran hasta hacerse largas en extremo, lo que las hacía manifiestamente inadecuadas para cualquier actividad manual. Así todo el mundo tendría claro que eran criaturas demasiado refinadas y elevadas para dedicarse nunca a tales ocupaciones. Es éste un gesto que no puede más que seducir a los ingleses, que sobrepasan a todas las demás naciones en esnobismo; nuestra fastidiosa aversión por las ciencias aplicadas y el comercio ha tenido mucho que ver con la actual posición de Inglaterra en el mundo.

The Limits of Science [Los límites de la ciencia] (1984)

La antipatía hacia la ciencia puede ser bastante puntillosa. Escuchemos el himno de odio hacia «los científicos» de la novelista y feminista Fay Weldon, publicado igualmente en el *Daily Telegraph* el 2 de diciembre de 1991. (Al señalar esta coincidencia no pretendo implicar nada, pues el periódico tiene un editor científico de lo más competente):

No esperen que los queramos. Nos prometieron mucho y no consiguieron dárnoslo. Ni siquiera intentaron dar respuesta a las preguntas que todos nos planteábamos cuando teníamos seis años. ¿Adonde fue la tía Maud cuando murió? ¿Dónde estaba antes de nacer?

Adviértase que esta acusación es exactamente la opuesta de la que hacía Bernard Levin (que los científicos no saben qué es lo que no saben). Si yo pretendiera ofrecer una respuesta en forma de conjetura

simple y directa a ambas cuestiones sobre la tía Maud, es seguro que se me tacharía de arrogante y presuntuoso por ir más allá de lo que presumiblemente puedo saber, más allá de los límites de la ciencia. La señora Weldon continúa:

Ustedes piensan que estas preguntas son simplistas y embarazosas, pero son las que nos interesan. ¿A quién le importa lo que ocurrió medio segundo después del Big Bang, ni lo que pasó medio segundo antes? ¿Y qué hay acerca de los círculos en los campos?⁸... Los científicos, simplemente, no pueden enfrentarse a la noción de un universo variable. Nosotros sí.

La señora Weldon no aclara nunca quiénes constituyen ese colectivo anticientífico que identifica como «nosotros», y es probable que a estas alturas la mente el tono de su escrito. Pero vale la pena preguntarse de dónde proviene esta hostilidad patente.

Otro ejemplo de anticientifismo, aunque en este caso quizá sólo pretendía ser gracioso, es un texto de A.A. Gilí, un columnista que dispara cañonazos humorísticos en el *Sunday Times* (8 de septiembre de 1996). Dice de la ciencia que está constreñida por el método experimental y por los tediosos y penosos escalones del empiricismo. La compara con el arte y el teatro, con el encanto de las luces, los polvos mágicos, la música y el aplauso.

Hay estrellas y estrellas, querida. Algunas son garabatos insulsos y repetitivos sobre papel, y otras son fabulosas, ingeniosas, incitan a pensar, son increíblemente populares...

«Garabatos insulsos y repetitivos» es una referencia al descubrimiento de los pulsares por parte de Bell y Hewish en 1967, en Cambridge. El artículo de Gilí era una reseña de un programa de televisión en el que la astrónoma Jocelyn Bell Bumell recordaba el momento estremecedor en el que comprendió, observando el registro del radióte -

8. Grandes señales circulares descubiertas a principios de la década de 1990 en campos de cultivo ingleses, atribuidas a supuestas naves extraterrestres que habrían aterrizado allí, y que resultaron ser una broma a gran escala obra de jubilados que se aburrían. (*N. del T.*)

lescopio de Anthony Hewish, que lo que estaba viendo era algo sin precedentes. Era una joven en el umbral de su carrera, y aquellos «garabatos insulsos y repetitivos» en su rollo de papel le hablaban en tono revolucionario. No era algo nuevo bajo el sol, era una *clase* nueva de sol, un pulsar. Mientras que nuestro planeta tarda 24 horas en dar una vuelta completa, el periodo de rotación de los pulsares es de apenas una fracción de segundo. Pero el haz de energía que nos trae esta información, barriendo en redondo como un faro a esa velocidad asombrosa y marcando los segundos con más precisión que un cristal de cuarzo, puede tardar millones de años en llegar hasta nosotros. Querida, ¡qué absolutamente tedioso, qué locamente *empírico!* Prefiero polvos mágicos en la pantomima cada día.

No creo que esta antipatía displicente y superficial resulte de la tendencia general a matar al mensajero, o de culpar a la ciencia de malos usos políticos, como las bombas de hidrógeno. No, la hostilidad que he citado me parece más producto de una angustia personal que toca la fobia, derivada del temor a la humillación, porque se considera que la ciencia es demasiado difícil de conocer a fondo. Por extraño que parezca, no osaría ir tan lejos como John Carey, profesor de literatura inglesa en Oxford, en el prefacio de su admirable *Faber Book of Science* (1995):

Las hordas que cada año compiten por ser admitidas en los cursos de letras de las universidades inglesas, y el goteo de aspirantes a los de ciencias, atestiguan el abandono de la ciencia entre los jóvenes. Aunque la mayoría de académicos se muestra reticente a hablar claro, el consenso general parece ser que los cursos de letras son populares porque son más fáciles, y que la mayoría de estudiantes de letras simplemente no estaría a la altura de las exigencias intelectuales de un curso de ciencia.

Algunas de las ciencias más matemáticas pueden ser difíciles, pero nadie debería tener problemas para comprender la circulación de la sangre y el trabajo de bombeo del corazón. Carey cuenta que citó unos versos de Donne ante una clase de treinta estudiantes del último año de literatura inglesa en una universidad importante: «¿Sabes de qué manera la sangre, que hasta el corazón fluye, / De un ventrículo al otro

va?».⁹ Carey les preguntó de qué modo fluye de hecho la sangre. Ninguno de los treinta se atrevió a contestar, menos uno que conjeturó que podía ser «por osmosis». Esto no sólo es incorrecto, es espectacularmente insulso. Insulso si se compara con el hecho de que la longitud total de los capilares a través de los cuales el corazón bombea la sangre de un ventrículo a otro es de más de 80 kilómetros. Si hay 80 kilómetros de tuberías empaquetados dentro de un cuerpo humano, es fácil deducir la fina e intrincada ramificación de tales tubos. No creo que ninguna persona verdaderamente culta pueda dejar de encontrar cautivador este pensamiento. Y a diferencia, por ejemplo, de la teoría de la gravitación cuántica, no es en absoluto difícil de comprender, aunque sí puede ser difícil de creer. Mi postura, por lo tanto, es más tolerante que la del profesor Carey. Me pregunto si, simplemente, estos jóvenes se han visto desanimados o insuficientemente inspirados por las clases de ciencia. El énfasis en los experimentos prácticos en la escuela, aunque sea perfectamente adecuado para algunos niños, podría ser superfluo o positivamente contraproducente para otros niños igualmente avisados, pero de otra manera.

Recientemente participé en un programa de televisión sobre la ciencia en nuestra cultura (precisamente el reseñado por A.A. Gilí). Entre las muchas cartas de reconocimiento que recibí había una con un comienzo conmovedor: «Soy un profesor de clarinete cuyo único recuerdo de la ciencia en la escuela es una larga temporada estudiando el mechero Bunsen». La carta me hizo pensar que es posible disfrutar del concierto de Mozart sin saber tocar el clarinete. En realidad, uno puede llegar a ser un conocedor experto de la música y no ser capaz de tocar una sola nota en ningún instrumento. Desde luego, la música se acabaría si nadie aprendiera a tocarla. Pero si todo el mundo creciera pensando que disfrutar de la música es sinónimo de *tocarla*, muchas vidas se verían empobrecidas.

¿No podríamos aprender a concebir la ciencia de la misma manera? Es ciertamente importante que algunas personas de entre las más brillantes y aptas aprendan a hacer ciencia como tema práctico. Pero ¿acaso no podríamos enseñar ciencia como algo que se puede disfrutar

9. *Knows't thou how blood, which to the heart doth flow, / Doth from one ventricle to the other go?*

leyendo, como se puede disfrutar oyendo música en lugar de afanarse en ejercicios de cinco dedos para aprender a tocarla? ¿Quién puede reprocharle a Keats que huyera de la sala de disección? Darwin hizo lo mismo. Quizá si las lecciones que recibió hubieran sido menos prácticas, Keats habría mostrado más simpatía hacia la ciencia y hacia Newton.

Es aquí donde me gustaría acercarme al más conocido periodista crítico de la ciencia de Gran Bretaña, Simón Jenkins, antiguo editor de *The Times*. Jenkins es un adversario más formidable que los otros que he citado, porque sabe de lo que habla. Admite sin dificultad que los libros de ciencia pueden ser inspiradores, pero lamenta la presencia excesiva de la ciencia en los planes de estudios de la educación obligatoria moderna. En una conversación grabada que mantuvo conmigo en 1996, decía:

De entre los libros de ciencia que he leído, se me ocurren muy pocos que pueda calificar de útiles. Sí han sido maravillosos. Ciertamente, me han hecho sentir que el mundo que me rodea es un lugar mucho más pleno, maravilloso y asombroso de lo que nunca creí que fuera. Ésta ha sido, para mí, la maravilla de la ciencia. Esta es la razón por la que la ciencia ficción conserva su apremiante fascinación. Ésta es la razón por la que el paso de la ciencia ficción a la biología es tan intrigante. Pienso que la ciencia tiene una historia magnífica que contar. Pero no es útil. No como un curso de estudios empresariales, o incluso un curso de política o economía.

La opinión de Jenkins de que la ciencia no es útil es tan idiosincrásica que la pasaré por alto. Por lo general, incluso sus críticos más severos admiten que la ciencia es útil, incluso demasiado, mientras que, al mismo tiempo, olvidan la opinión más importante de Jenkins, que puede ser maravillosa. Para ellos, el utilitarismo de la ciencia socava nuestra humanidad y destruye el misterio en el que a veces se piensa que medra la poesía. Otro periodista y pensador inglés, Bryan Apple-yard, escribía en 1992 que la ciencia está haciendo un «espantoso daño espiritual» y nos está «induciendo a abandonamos, a abandonar nuestro verdadero yo». Lo que me retrotrae a Keats y su arco iris, y nos lleva al siguiente capítulo.

3 Códigos de barras en las estrellas

Ni jamás
Los matices teñidos de primavera del arco iris que se licúa
Brillaron para mí de forma más agradable que cuando por vez primera
La mano de la ciencia señaló el camino
En que los rayos de sol que fulguran desde el oeste
Caen sobre la nube acuosa cuyo velo sombrío
Envuelve el oriente, y este aguacero goteante,
Abriéndose paso a través de todas las cristalinas convexidades
De las gotas de rocío que se agrupan y se oponen a su trayectoria,
Retrocede completamente allí donde todas son cóncavas, detrás
De la superficie interna de cada esfera vírea,
Repele su paso hacia delante en el aire;
Que desde allí buscan directamente el objetivo radiante
Desde el que se inició su recorrido; y mientras inciden
En diferentes líneas el ojo obvio del observador,
Asumen un lustre diferente, a través de la trenza
De colores que cambian desde el de la espléndida rosa
Hasta el tono deprimido de la pálida violeta.'

Mark Akenside, *The Pleasures of Imagination*

[*Los placeres de la imaginación*] (1744)

En diciembre de 1817, John Keats conoció a William Wordsworth en una cena organizada por el pintor y crítico inglés Benjamín Haydon en su taller londinense, a la que también asistían Charles Lamb y otros miembros del círculo literario inglés. A la vista estaba el nuevo cuadro de Haydon de Jesucristo entrando en Jerusalén, escoltado por las figuras de Newton como creyente y de Voltaire como escéptico. Lamb, ebrio, le echó en cara a Haydon que hubiera pintado a Newton, «un tipo que no creía nada a menos que estuviera tan claro como los tres la-

I. *Nor ever yet / The melting rainbow's vernal-tinctur'd hues / To me have shone so pleasing, as when first / The hand of science pointed out the path / In which the sun-beams gleaming from the west / Fall on the wat'ry cloud, whose darksome veil / Involves the orient, and that tricking show'r / Piercing thro' every crystalline convex / Of clust'ring dew-drops to their flight oppos'd, / Recoil at length where concave all behind / Th' 'infernal surface of each glassy orb / Repetís their forward passage into air; / That thence direct they seek the radian! goal / From which their course began; and as they strike / In diff'rent Unes the gazer's obvious eye, / Assume a diff'rent lustre, thro' the brede / Of colours changing from the spendid rose / To the pale violet's dejected hue.*

dos de un triángulo». Keats se alió con Lamb; Newton había destruido toda la poesía del arco iris al reducirlo a los colores del prisma. «Fue imposible resistírsele», cuenta Haydon, «y todos brindamos "¡A la salud de Newton, y confusión a las matemáticas!"». Años más tarde, Haydon recordaba aquella «cena inmortal» en una carta a Wordsworth, su colega superviviente.

¿Recuerda usted cuando Keats propuso como brindis «Confusión a la memoria de Newton», y como usted insistiese en pedir explicaciones antes de beber, él dijo: «Porque destruyó la poesía del arco iris al reducirlo a un prisma»? ¡Ah, viejo y querido amigo, nunca volveremos a ver días como aquellos!

Haydon, *Autobiography and Memoirs* [Autobiografía y memorias]

Tres años después de la cena de Haydon, en su largo poema «Lamia» (1820), Keats escribió

¿Acaso no vuelan todos los encantos
Al mero toque de la fría filosofía?
Una vez había en el cielo un arco iris tremendo;
Conocemos su trama, su textura; está indicada
En el insulso catálogo de las cosas comunes.
La filosofía cercenará las alas de un Ángel,
Conquistará todos los misterios con la regla y la línea,
Vaciará el aire de fantasmas, y la mina de gnomos...
Destejerá un arco iris...²

Wordsworth tenía un mejor concepto de la ciencia y de Newton («Que viajó en solitario por los extraños mares del pensamiento»). En el prefacio de sus *Lyrical Ballads* [Baladas líricas] (1802), previo un tiempo en el que «Los descubrimientos más remotos del químico, el botánico o el mineralogista serán objetos tan propios del arte poético

2. *Do not all charms fly / At the mere touch of cold philosophy? / There was an awful rainbow once in heaven: / We know her woof, her texture; she is ^iven / In the dull catalogue of common things. / Philosophy will clip an Ángel's wings, / Conquer all mysteries by rule and Une, / Empty the haunted air, and gnomed mine- / Unweave a rainbow...*

como cualesquiera otros susceptibles de serlo». Su colaborador Coleridge dijo en otro lugar que «harían falta las almas de 500 Isaac Newton para obtener un Shakespeare o un Milton». Esto puede interpretarse como la hostilidad patente de un destacado romántico contra la ciencia en general, pero la cosa es más complicada. Coleridge leyó muchísima ciencia y presumía de ser un pensador científico, y más en lo que respecta a la luz y el color, tema en el que afirmaba haberse anticipado a Goethe. Algunas de las especulaciones científicas de Coleridge han resultado ser plagios, y quizá demostrara poco criterio en cuanto a quién plagiar. No era a los científicos en general a quienes Coleridge anatemizaba, sino a Newton en particular. Tenía en mucha consideración a Sir Humphry Davy, a cuyas conferencias en la Institución Real asistía «con el fin de renovar mi surtido de metáforas». Encontraba que los descubrimientos de Davy, comparados con los de Newton, eran «más intelectuales y más ennoblecedores y afirmadores de la naturaleza humana». Su uso de verbos como *ennoblecer* y *afirmar* sugiere que el corazón de Coleridge quizás estaba en la posición correcta en cuanto a la ciencia, si no en cuanto a Newton. Pero no se mantuvo fiel a sus propios ideales de «desplegar y disponer» sus ideas en «conceptos precisos, claros y comunicables». En una carta de 1817 manifestaba, casi fuera de sí, su confusión a propósito del espectro y el arco iris:

Para mí, lo confieso, las proposiciones de Newton: primera, del *rayo* de luz como *individuo sinódico* físico; segunda, de que 7 individuos específicos coexisten (¿mediante qué cópula?) en este rayo complejo pero divisible; tercera, que el prisma es un mero disector mecánico de este rayo, y última, que la luz es el resultado común, es = confusión.

En otra carta de 1817, Coleridge se entusiasma con su tema:

De modo que, de nuevo, el color es la gravitación bajo el poder de la luz, siendo el amarillo el polo positivo, el azul el negativo y el rojo la culminación o ecuador; mientras que el sonido, en cambio, es la luz bajo el poder o preeminencia de la gravitación.

Puede que, simplemente, Coleridge naciera demasiado pronto para ser un posmoderno:

La distinción figura/fundamento prevalente en *El arco iris de la gravedad* es también evidente en *Vineland*, aunque en un sentido más autoestable. Así, Derrida utiliza el término «teoría cultural subsemiótica» para denotar el papel del lector como poeta. De este modo, el tema se contextualiza en una teoría capitalista poscultural que incluye el lenguaje como paradoja.

Esta cita procede de <http://www.cs.monash.edu.au/links/postmo-dern.html>, donde puede encontrarse una cantidad literalmente infinita de dícticos parecidos. Los juegos de palabras sin sentido de los *savants* francófonos en boga, que Alan Sokal y Jean Bricmont denuncian en su espléndido libro *Imposturas intelectuales* (1998), parecen no tener otra función que impresionar a los crédulos. Ni siquiera pretenden ser comprendidos. Una colega confesó a un devoto norteamericano del posmodernismo que encontraba su libro muy difícil de comprender. «¡Oh, muchas gracias!», le contestó con una sonrisa, evidentemente encantado por el cumplido. Las digresiones científicas de Coleridge, por el contrario, parecen mostrar un cierto deseo genuino, aunque incoherente, de comprender el mundo que le rodeaba. Dejémoslo a un lado, en tanto que anomalía única, y sigamos adelante.

¿Por qué en «Lamia», de Keats, la filosofía de la regla y la línea se califica de «fría», y por qué huye todo encanto ante ella? ¿Qué hay de tan amenazador en la razón? Los misterios no pierden su poesía cuando se resuelven. Bien al contrario; la solución es muchas veces más hermosa que el enigma y, en cualquier caso, cuando se resuelve un misterio salen a relucir otros, quizá inspiradores de una poesía más elevada. En cierta ocasión, un conocido le comentó al gran físico teórico Richard Feynman que un científico pasa por alto la belleza de una flor al estudiarla, a lo que Feynman respondió:

La belleza que está aquí para ti también está a mi alcance. Pero yo veo una belleza más profunda a la que no es tan fácil acceder. Puedo ver las complicadas interacciones de la flor. El color de la flor es rojo. ¿Acaso el hecho de que la planta tenga color significa

que evolucionó para atraer a los insectos? Esto añade una pregunta adicional. ¿Pueden los insectos ver el color? ¿Poseen un sentido estético? Y así sucesivamente. No veo que el hecho de estudiar una flor le reste nada de su belleza. Sólo le añade.

«Recordando a Richard Feynman», *The Skeptical Inquirer* (1988)

La disección de Newton del arco iris en luz de diferentes longitudes de onda llevó a la teoría del electromagnetismo de Maxweil, y de aquí a la teoría de la relatividad especial de Einstein. Si el lector piensa que el arco iris tiene misterio poético, debería probar con la relatividad. El propio Einstein aplicó abiertamente juicios estéticos a la ciencia, y puede que hasta fuera demasiado lejos. «La cosa más bella que podemos experimentar», dijo, «es lo misterioso. Es el origen de todo el arte y la ciencia auténticos.» Sir Arthur Eddington, cuyos propios escritos científicos se distinguían por su aire poético, aprovechó el eclipse solar de 1919 para comprobar la relatividad general y volvió de la isla Príncipe en el golfo de Guinea para anunciar, según la frase de Banesh Hoffmann, que Alemania albergaba al mayor científico de la época. Leo estas palabras con un nudo en la garganta, pero el propio Einstein no se quedó atrás. Cualquiera otro resultado y «lo habría sentido por el buen Dios. La teoría es correcta».

Isaac Newton creó un arco iris privado en un cuarto oscuro. Un pequeño agujero en una contraventana dejaba pasar un rayo de luz. En su trayecto colocó su famoso prisma, que refractó (desvió) el rayo de luz con cierto ángulo al penetrar en el vidrio y de nuevo al salir por la otra cara y volver al medio aéreo. Cuando la luz incidió sobre la pared del fondo del cuarto, se veían claramente los colores del espectro. Newton no fue el primero en crear un arco iris artificial con un prisma, pero sí el primero que usó uno para demostrar que la luz blanca es una mezcla de distintos colores. El prisma los separa al desviarlos con ángulos diferentes: el azul se desvía más que el rojo, y el verde, el amarillo y el naranja se desvían con ángulos intermedios. Otros, comprensiblemente, habían pensado que el prisma cambiaba la calidad de la luz, tiñéndola y no separando los colores de una mezcla previa. Newton zanjó la cuestión mediante dos experimentos en los que la luz atravesaba dos prismas. En su *experimentum crucis*, después del primer prisma colocó una rendija que sólo dejaba pasar una

pequeña parte del espectro, por ejemplo la porción roja. Cuando esta luz roja era refractada de nuevo por un segundo prisma, únicamente salía luz roja. Esto demostraba que el prisma no cambia la calidad de la luz, sólo separa sus componentes normalmente mezclados. En su otro experimento concluyente, Newton invirtió el segundo prisma. Lo que observó es que los colores separados por el primer prisma eran reunidos de nuevo por el segundo, con lo que se obtenía luz blanca reconstituida.

La mejor manera de comprender el espectro es mediante la teoría ondulatoria de la luz. Lo que ocurre con las ondas es que, en realidad, no hay nada que recorra todo el trayecto desde la fuente hasta el destino. El movimiento es local y de pequeña escala. Este movimiento local provoca un movimiento en el siguiente sector local, y así sucesivamente, como las famosas «olas» de los estadios de fútbol. La teoría ondulatoria original de la luz fue sustituida a su vez por la teoría cuántica, según la cual la luz se emite como una comente de fotones discretos. Los físicos a quienes he presionado admiten que los fotones que fluyen del Sol no se comportan como los hinchas de fútbol para crear el movimiento ondulatorio de un extremo a otro del estadio. No obstante, ingeniosos experimentos hechos en este siglo han demostrado que en la teoría cuántica los fotones siguen comportándose como ondas. Para muchos propósitos, incluyendo el nuestro en este capítulo, podemos olvidar la teoría cuántica y tratar la luz simplemente como ondas que se propagan desde una fuente de luz, como las olas que se forman en la superficie de un estanque cuando se lanza una piedra. Pero las ondas luminosas viajan a una velocidad incomparablemente mayor y se emiten en tres dimensiones. Destejer el arco iris equivale a separar sus componentes de distinta longitud de onda. La luz blanca es una mezcla desordenada de longitudes de onda, una cacofonía visual. Los objetos blancos reflejan luz de cualquier longitud de onda pero, a diferencia de los espejos, al hacerlo la dispersan en incoherencia. Esta es la razón por la que una pared blanca refleja luz, pero no nos permite ver nuestra imagen. Los objetos negros absorben luz de cualquier longitud de onda. Los objetos coloreados, en razón de las estructuras atómicas de sus pigmentos o capas superficiales, absorben ciertas longitudes de onda y reflejan otras. El vidrio corriente se deja atravesar por todas las longitudes de onda. El vidrio co-

loreado se deja atravesar por ciertas longitudes de onda al tiempo que absorbe otras .

¿Y qué decir del desvío de los rayos de luz por un prisma de vidrio o, en condiciones adecuadas, una gota de lluvia, que escinde la luz blanca en sus distintos colores? Y en todo caso, ¿por qué el vidrio y el agua desvían los rayos de luz? El desvío resulta de una deceleración de la luz al pasar del aire al vidrio (o al agua); cuando sale del vidrio la velocidad de la luz vuelve a aumentar. ¿Cómo puede ser eso, dado el aforismo de Einstein de que la velocidad de la luz es la gran constante física del universo y nada puede ir más rápido? La respuesta es que la legendaria velocidad máxima de la luz, representada por el símbolo c , se alcanza sólo en el vacío. Cuando la luz atraviesa una sustancia transparente como el vidrio o el agua, su velocidad disminuye por un factor conocido como «índice de refracción» de la sustancia. También el aire la frena, pero menos.

Pero ¿por qué esta demora se traduce en un cambio de ángulo? Si el haz de luz incide perpendicularmente sobre un bloque de vidrio, continuará con el mismo ángulo pero con menor velocidad. Sin embargo, si incide oblicuamente se desviará adoptando un ángulo menor respecto de la superficie. ¿Por qué? Los físicos han acuñado un «principio de mínima acción» que, si bien no es completamente satisfactorio como explicación última de las cosas, al menos es algo con lo que podemos simpatizar. El asunto está muy bien explicado en *Cómo crear el mundo* (1992), de Peter Atkins. Cierta entidad física, en este caso un rayo de luz, se comporta como si se esforzara por economizar, intentando minimizar algo. Imagine el lector un socorrista playero que se apresta a salvar a un niño que se está ahogando. Cada segundo cuenta, por lo que hay que llegar hasta el niño en el menor tiempo posible. Correr es más rápido que nadar. La carrera hacia el niño es inicialmente sobre tierra, y luego hay que seguir nadando, con la consiguiente reducción de velocidad. Suponiendo que el niño no se encuentre justo delante del socorrista, ¿cómo puede minimizar éste el tiempo de llegada? Si va en línea recta minimizará la distancia, pero no el tiempo, porque buena parte de esa distancia tendrá que cubrirse nadando. Una solución mejor es correr hasta el punto de la orilla más cercano al niño y después nadar en línea recta hacia él. Esto maximiza la carrera a expensas de la natación, pero tampoco ésta es la ruta más rápida, porque la dis -

tancia total recorrida es mayor. Es fácil ver que lo más rápido es correr hacia la orilla con cierto ángulo crítico (que depende de la relación entre la velocidad del socorrista en tierra y su velocidad a nado) y después cambiar de ángulo para cubrir la parte acuática del recorrido. A modo de analogía, la velocidad de natación y la velocidad de carrera corresponden al índice de refracción del agua y del aire, respectivamente. Desde luego, los rayos de luz no pretenden minimizar deliberadamente la duración de su trayecto, pero todo lo referente a su comportamiento adquiere sentido si se asume que lo hacen de manera inconsciente. La analogía puede hacerse respetable en términos de teoría cuántica, pero esto se aparta de los objetivos del presente libro y recomiendo leer el de Atkins.

El espectro depende del hecho de que cada color de luz se retarda en distinta medida: el índice de refracción de una sustancia dada, por ejemplo vidrio o agua, es mayor para la luz azul que para la roja. Podemos imaginar la luz roja como un nadador más rápido que la luz azul, que se enreda en la maleza de los átomos del vidrio o el agua debido a su corta longitud de onda. La luz de todos los colores se enreda menos entre los átomos más dispersos del aire, pero el azul sigue viajando más despacio que el rojo. En el vacío, donde no hay maleza en absoluto, la luz de todos los colores viaja con la misma velocidad: el valor máximo y universal c .

El efecto de las gotas de lluvia es más complicado que el del prisma de Newton. Al ser aproximadamente esféricas, su superficie interior actúa como un espejo cóncavo. Esto hace que reflejen la luz solar después de refractarla, razón por la cual vemos el arco iris en la parte del cielo opuesta al Sol, en lugar de verlo al mirar hacia el Sol a través de la lluvia. Imagine el lector que se halla de espaldas al Sol mirando hacia un chaparrón, mejor sobre un fondo plumizo. No verá ningún arco iris si el Sol se encuentra a una altura en el cielo superior a 42 grados sobre el horizonte. Cuanto más bajo esté el Sol, más alto estará el arco iris. A medida que el Sol se eleva por la mañana, el arco iris, si es que hay alguno visible, se pone. A medida que el Sol se pone por la tarde, el arco iris se eleva. Imaginemos una gota de lluvia esférica. El Sol se encuentra detrás y un poco por encima del lector, y un rayo de luz penetra en la gota de lluvia. Al cruzar el límite entre el aire y el agua la luz se refracta, y las diferentes longitudes de onda que la cons-

tituyen se desvían con ángulos diferentes, como en el prisma de Newton. Los colores desplegados atraviesan la gota hasta incidir en la superficie cóncava opuesta, que los refleja hacia abajo. Cuando pasan de nuevo del agua al aire vuelven a refractarse, y de nuevo los distintos colores se desvían con ángulos diferentes. Tras abandonar la gota de lluvia, parte de ellos llega hasta el ojo del lector.

Así pues, nuestra gota de lluvia refleja un espectro completo (rojo, naranja, amarillo, verde, azul, violeta), y lo mismo hacen las gotas de las inmediaciones. Pero sólo una pequeña parte del espectro proveniente de cada gota de lluvia incide en el ojo del lector. Si éste recibe un rayo de luz verde procedente de una gota de lluvia determinada, la luz azul que venga de esa misma gota pasará por encima del ojo, y la luz roja por debajo. Entonces, ¿cómo es que el lector ve un arco iris completo? Porque hay una cantidad inmensa de gotas de lluvia. Una banda de miles de gotas de lluvia dirige la luz verde hacia nuestros ojos (y también dirige la luz azul hacia cualquiera que se sitúe a la altura adecuada por encima de nosotros, y la luz roja hacia cualquiera que se sitúe por debajo). Otra banda de miles de gotas de lluvia dirige hacia nuestros ojos la luz roja, otra banda nos proporciona la luz azul, y así sucesivamente. Las gotas de lluvia que proporcionan la luz roja se encuentran todas a la misma distancia de los ojos del lector, y por esto la banda roja es curva (el lector es el centro del círculo). Lo mismo puede decirse de la banda verde, pero en este caso la distancia es más corta, de modo que el círculo tiene un radio menor y la curva verde se sitúa dentro de la curva roja. La curva azul se sitúa dentro de la curva verde, y todo el arco iris se construye como una serie de círculos centrados en el lector. Otros observadores verán distintos arcos iris centrados en ellos.

Así pues, lejos de haber un arco iris arraigado en un «lugar» determinado en el que las hadas pueden depositar un caldero de oro, hay tantos arcos iris como ojos que contemplan la tormenta. Diferentes observadores que miren el mismo chubasco desde lugares distintos tendrán sus propios arcos iris compuestos con luz procedente de diferentes conjuntos de gotas de lluvia. Para ser exactos, incluso cada uno de los dos ojos del lector ve un arco iris distinto. Y cuando miramos «un» arco iris mientras viajamos en automóvil por una carretera, lo que estamos viendo realmente es una secuencia de arcos iris en rápida suce-

sión. Pienso que si Wordsworth hubiera sabido todo esto, podía haber mejorado sus versos «Mi corazón salta cuando contemplo / Un arco iris en el cielo»³ (aunque debo decir que habría sido difícil mejorar los versos siguientes).⁴

Una complicación adicional es que las gotas de lluvia están cayendo o siendo arrastradas por el viento. Una gota concreta puede atravesar la banda que está proporcionando, por ejemplo, luz roja al lector y después desplazarse a la región del amarillo. Pero el lector continúa viendo la banda roja, como si nada se moviera, porque nuevas gotas vienen a ocupar el lugar de las que se desplazan. Richard Whelan, en su encantador *Book of Rainbows [Libro de los arcos iris]* (1997), que es la fuente de muchas de mis citas sobre el arco iris, cita a Leonardo da Vinci:

Obsérvense los rayos del sol en la composición del arco iris, cuyos colores son generados por la lluvia que cae, cuando cada gota en su descenso toma cada uno de los colores del arco.

Tratado de pintura (década de 1490)

La ilusión del propio arco iris permanece firme como la roca, aunque las gotas que la crean estén cayendo o viajando con el viento. Coleridge escribió:

El arco iris inmutable en la rápida y célere llovizna. ¡Qué congregación de imágenes y sentimientos, de fantástica permanencia en medio del rápido cambio de la tempestad!... la quietud es hija de la tormenta.

De Anima Poetae (publicada en 1895)

También su amigo Wordsworth estaba fascinado por la inmovilidad del arco iris a pesar del movimiento turbulento de la propia lluvia:

Mientras tanto, y no puedo decir por qué extraña casualidad, Por qué combinación del viento y las nubes,

3. *My heart leaps up when I behold / A rainbow in the sky.*

4. Son éstos: «Así fue cuando mi vida empezó; / Así es ahora que ya soy un hombre; / Así sea cuando me haga viejo, / ¡O dejadme morir! / El niño es padre del hombre; / Y me gustaría que mis días estuvieran / Enlazados unos con otros por la piedad natural». (*N. del T.*)

Un arco iris grande y no mutilado permanecía
Inmóvil en el cielo.⁵

The Prelude [El prelude] (1815)

Parte del romanticismo del arco iris proviene de la ilusión de que siempre se encuentra colgado en el horizonte, muy lejos, una curva inalcanzable y enorme que retrocede a medida que nos acercamos. Pero el «arco iris de la ola de arena salada» de Keats, estaba cerca. Y a veces podemos contemplar un arco iris que forma un círculo cerrado de apenas unos metros de diámetro, viajando al lado nuestro mientras conducimos. (Los arcos iris parecen semicirculares sólo porque el horizonte oculta la parte inferior del círculo.) El gran tamaño aparente de un arco iris se debe en parte a una ilusión de distancia. El cerebro proyecta la imagen hacia el cielo, aumentándola. El lector puede conseguir el mismo efecto mirando fijamente una lámpara brillante para «grabar» su imagen en la retina y «proyectarla» después a distancia mirando al cielo. Esto hace que parezca más grande.

Existen otras complicaciones deliciosas. He supuesto implícitamente que la luz solar penetra en la gota de lluvia a través del cuadrante superior de la superficie orientada hacia el Sol y la abandona a través del cuadrante inferior. Pero, obviamente, nada impide que la luz entre por el cuadrante inferior. En las condiciones adecuadas, puede entonces reflejarse *dos veces* dentro de la esfera, saliendo por el cuadrante inferior de tal manera que llega hasta el ojo del observador, también refractada, y crea un segundo arco iris, 8 grados más alto que el primero, con los colores invertidos. Desde luego, para cualquier observador dado, ambos arcos iris están producidos por distintas poblaciones de gotas de lluvia. No se ven arcos iris dobles con frecuencia, pero Wordsworth tuvo que experimentar alguna vez dicha visión, y a buen seguro su corazón saltó aún más alto. En teoría, puede haber otros arcos iris, aunque más tenues, dispuestos concéntricamente, pero sólo se ven muy raramente. ¿Puede alguien sugerir seriamente que el conocimiento de lo que ocurre en el interior de todos estos miles de poblaciones de gotas de agua que caen, destellan, reflejan y refractan *echa a*

5. *Meanwhile, by what strange chance I cannot tell, / What combination of the wind and clouds, / A large unmutated rainbow stood / Immovable in heaven.*

perder el arco iris? Ruskin dijo en Modern Painters III [Pintores modernos, III] (Í56):

Para la mayoría de hombres, un placer ignorante es mejor que uno informado; es mejor concebir el cielo como una cúpula azul que como una cavidad oscura, y la nube como un trono dorado que como una neblina de aguanieve. Dudo mucho que alguien con conocimientos de óptica, por religioso que sea, pueda sentir en igual medida el placer o reverencia que un campesino ignorante puede sentir a la vista de un arco iris... No podemos sondear el misterio de una única flor, ni se pretende que debamos hacerlo; sino que la prosecución de la ciencia debe demorarse constantemente por el amor de la belleza, y la exactitud del conocimiento por la ternura de la emoción.

De alguna manera, todo esto hace plausible la teoría de que la noche de bodas del pobre Ruskin se vio arruinada por el horripilante descubrimiento de que las mujeres tienen vello púbico.

En 1802, quince años antes de la «cena inmortal» de Haydon, el físico inglés William Wollaston hizo un experimento similar al de Newton, pero su haz de luz tenía que pasar a través de una estrecha rendija antes de incidir en el prisma. El espectro que surgió del prisma estaba formado por una serie de bandas delgadas de distinta longitud de onda. Las bandas se superponían parcialmente componiendo un espectro, pero, repartidas a lo largo del mismo, observó líneas estrechas y oscuras en lugares concretos. Posteriormente estas líneas fueron medidas y catalogadas por el físico alemán Joseph von Fraunhofer, por cuyo nombre se las conoce en la actualidad. Las líneas de Fraunhofer tienen una disposición característica, una huella dactilar (o un código de barras, en lo que es una analogía aún más apta) que depende de la naturaleza química de la sustancia a través de la cual han pasado los rayos. Por ejemplo, el hidrógeno produce su propia pauta característica de líneas y espacios (código de barras), el sodio produce una pauta distinta, y así sucesivamente. Wollaston vio sólo siete líneas; los instrumentos superiores de Fraunhofer revelaron 576, y los espectroscopios modernos alrededor de 10.000.

El código de barras de un elemento no consiste sólo en el espaciado entre líneas, sino en su posición contra el fondo del arco iris. Los

códigos de barras precisos del hidrógeno y los otros elementos son explicados ahora con precisión por la teoría cuántica, pero aquí es donde tengo que pedir excusas y marcharme. A veces imagino que tengo una cierta apreciación de la poesía de la teoría cuántica, pero aún tengo que adquirir una comprensión lo bastante profunda de ella para poderla explicar a otros. De hecho, puede que nadie entienda realmente la teoría cuántica, posiblemente porque la selección natural modeló nuestro cerebro para sobrevivir en un mundo de cosas grandes y lentas, en el que los efectos cuánticos se suavizan. En este aspecto insistía Richard Feynman, de quien se supone que dijo: «Si usted piensa que comprende la teoría cuántica, ¡entonces no comprende la teoría cuántica!». Creo que las conferencias publicadas de Feynman me han acercado más a la comprensión, así como el sorprendente e inquietante libro de David Deutsch *La estructura de la realidad* (1997). (Lo encuentro inquietante además de sorprendente porque no sé distinguir si estoy leyendo física generalmente aceptada o las atrevidas especulaciones del autor.) Cualesquiera que sean las dudas de un físico sobre la interpretación de la teoría cuántica, nadie duda de su éxito fenomenal a la hora de predecir resultados experimentales detallados. Y felizmente, para los fines de este capítulo, basta con saber, como se sabe desde los tiempos de Fraunhofer, que cada uno de los elementos químicos exhibe un código de barras propio de líneas finas característicamente espaciadas, marcadas a lo largo del espectro.

Hay dos maneras de ver las líneas de Fraunhofer. Hasta aquí he hablado de líneas oscuras sobre un fondo irisado. Estas líneas se deben a que un elemento en la trayectoria de la luz absorbe determinadas longitudes de onda, eliminándolas selectivamente del espectro como hemos visto. Pero se puede producir una pauta equivalente de líneas de colores contra un fondo oscuro si se hace que el mismo elemento emita luz, como cuando forma parte de la constitución de una estrella.

El refinamiento de Fraunhofer del experimento de Newton ya se conocía antes de que el filósofo francés Auguste Comte escribiera, temerariamente, lo siguiente acerca de las estrellas:

Nunca seremos capaces de estudiar, por ningún método, su composición química o su estructura mineralógica... Nuestro conoci-

miento positivo de las estrellas está necesariamente limitado a sus fenómenos geométricos y mecánicos.

Cours de philosophie positivo [Curso de filosofía positiva] (1835)

Hoy en día, mediante el análisis meticuloso de los códigos de barras de Fraunhofer en la luz estelar, sabemos con gran detalle de qué están hechas las estrellas, aunque nuestras perspectivas de visitarlas apenas son mejores que en tiempos de Comte. Hace unos años, mi amigo Charles Simonyi tuvo una discusión con un antiguo presidente del Banco de la Reserva Federal estadounidense. Este caballero estaba al tanto de la sorpresa de los científicos cuando la NASA reveló la composición de la Luna. Puesto que la Luna se encuentra mucho más cerca que las estrellas, razonaba, es probable que nuestros barruntos acerca de las estrellas sean incluso más erróneos. Parece plausible, sin embargo, como le explicó el doctor Simonyi, que sea justo al revés. Con independencia de lo lejos que estén, las estrellas emiten su propia luz, y esto es una gran diferencia. Toda la luz que nos llega de la Luna es luz solar reflejada (un hecho que, según se dice, D.H. Lawrence se negaba a creer, pues ofendía su sensibilidad poética), por lo que su espectro no nos da ninguna información sobre la naturaleza química de nuestro satélite.

Los instrumentos modernos son espectacularmente superiores al prisma de Newton, pero la ciencia actual de la espectroscopia es la descendiente directa de su destejimiento del arco iris. El espectro de la luz emitida por una estrella, en especial sus líneas de Fraunhofer, nos informa con gran detalle de qué sustancias químicas hay presentes. También nos informa de la temperatura, la presión y el tamaño de la estrella. Es la base de una clasificación exhaustiva de la historia natural de las estrellas, que permite situar a nuestro Sol en el lugar que le corresponde dentro del gran catálogo estelar: una enana amarilla de la clase G₂V. He aquí una cita de 1996 de una revista popular de astronomía, *Sky and Telescope*:

Para quienes pueden leer su significado, el código espectral dice de un vistazo qué clase de objeto es la estrella: su color, tamaño y luminosidad, su historia y futuro, sus peculiaridades, y sus afinidades con el Sol y las estrellas de los demás tipos.

Gracias a los espectroscopios, hoy sabemos que las estrellas son hornos nucleares que producen helio a partir de la fusión del hidrógeno que constituye la mayor parte de su masa. Los núcleos de helio se funden a su vez en la cascada posterior de impurezas que genera la mayor parte de los otros elementos, forjando así los átomos de masa media que nos constituyen.

La descomposición de la luz por Newton abrió paso al descubrimiento de que el arco iris visible, la banda que de hecho percibimos, es una estrecha franja en el espectro completo de las ondas electromagnéticas. La luz visible abarca las longitudes de onda comprendidas entre 0,4 millonésimas de metro (violeta) y 0,7 millonésimas de metro (granate). Un poco más largos que el rojo son los rayos infrarrojos, que percibimos como radiación calórica invisible, y que algunas serpientes y misiles dirigidos utilizan para localizar su blanco. Un poco más cortos que el violeta son los rayos ultravioleta, que nos queman la piel y producen cáncer. Las ondas de radio son mucho más largas que el color rojo. Sus longitudes de onda se miden en centímetros, metros y hasta kilómetros. Entre ellas y las ondas infrarrojas del espectro se encuentran las microondas, que empleamos en los radares y para la cocina rápida. Más cortos aún que los rayos ultravioleta son los rayos X, que nos sirven para ver los huesos a través de la carne. Los más cortos de todos son los rayos gamma, con longitudes de onda que se miden en trillonésimas de metro. No hay nada especial en la estrecha franja de longitudes de onda que llamamos luz, aparte del hecho de que podemos verla. Para los insectos, la luz visible está desplazada en bloque a lo largo del espectro. El ultravioleta es para ellos un color visible («púrpura de abejas»), y son ciegos para el rojo (o, mejor, «infraamarillo»). La radiación a todo lo largo del espectro ampliado puede destejarse igual que el arco iris, aunque el instrumento concreto que utilicemos para ello (un sintonizador de radio en lugar de un prisma, por ejemplo) sea diferente en las distintas partes del espectro.

Los colores que percibimos, las sensaciones subjetivas de rojez o azulidad, son etiquetas arbitrarias que nuestro cerebro asocia a luz de diferentes longitudes de onda. No hay nada intrínsecamente «largo» en la rojez. Saber diferenciar entre el rojo y el azul no nos ayuda a recordar cuál corresponde a una longitud de onda más larga. Siempre tengo que consultarlo, mientras que nunca olvido que los tonos de soprano

tienen una longitud de onda más corta que los de bajo. El cerebro necesita etiquetas internas convenientes para las distintas partes del arco iris físico. Nadie sabe si mi sensación de rojez equivale a la del lector, pero podemos convenir en que la luz que llamo roja es la misma que el lector llama roja y en que su longitud de onda, si un físico la mide, resultará ser larga. Mi sensación subjetiva es que el violeta se parece más al rojo que al azul, aunque ambos colores se encuentren en lados opuestos del espectro. Seguramente el lector estará de acuerdo. El tono rojizo aparente del violeta es algo que tiene que ver con el sistema nervioso y no con la física de los espectros.

Cuando el doctor Dolittle, el inmortal personaje de Hugh Lofting, voló hasta la Luna, quedó maravillado al contemplar una gama deslumbrante de colores nuevos, tan diferentes de los que nos resultan familiares como el azul lo es del rojo. Podemos estar seguros de que esto no podría ocurrir nunca ni siquiera en la ficción. Los tonos que darán la bienvenida a cualquier viajero de otro mundo serán función del cerebro que traiga éste consigo desde su planeta natal.⁶

Ahora sabemos con cierto detalle cómo informa el ojo al cerebro sobre las longitudes de onda de la luz. Se trata de un código de tres colores, como el de la televisión en color. La retina humana posee cuatro tipos de células fotosensibles: tres tipos de «conos» más los «bastones». Los cuatro son similares y seguramente divergieron a partir de un antepasado común. Una de las cosas que suelen olvidarse acerca de cualquier tipo de célula es cuán intrincadamente complicada es su estructura, gran parte de la cual está formada por membranas internas finamente plegadas. Cada minúsculo bastón o cono contiene numerosas membranas apiladas como un rimerito alto de libros. Enhebrada entre

6. El color es una rica fuente de especulación filosófica, a menudo con una información científica pobre. Un intento laudable de rectificar esto es el libro de C.L. Hardin *Color for Philosophers: Unweaving the Rainbow [El color para filósofos: Destejiendo el arco iris]* (1988). Me resulta embarazoso decir que descubrí este libro, y en concreto su excelente subtítulo, después de que el mío hubiese sido ya entregado a los editores. Dicho sea de paso, el doctor Dolittle puede ser difícil de encontrar en la actualidad, pues suele estar vetado por algunos bibliotecarios pomposamente correctos, preocupados por el racismo que pueda haber en *The Story of Doctor Dolittle [La historia del doctor Dolittle]*, pero esto era casi universal en los años veinte. En cualquier caso, ello queda compensado por la espléndida lucha del doctor contra el tráfico de esclavos en *Doctor Dolittle's Post Office [Leí oficina de correos del doctor Dolittle]* y, a un nivel más profundo, por la postura de todos los libros del doctor Dolittle contraria al vicio de la preeminencia de ciertas especies sobre otras, una postura tan incuestionable hoy como en tiempos lo fue el racismo. (N. del A.)

los libros hay una molécula de proteína larga y delgada, denominada rodopsina. Como muchas otras proteínas, la rodopsina se comporta como una enzima que cataliza una reacción química concreta al proporcionar un molde adecuado para que determinadas moléculas encajen en él.

Es la forma tridimensional de una enzima lo que le confiere su cualidad catalítica. Ésta actúa como una matriz cuidadosamente diseñada, aunque ligeramente flexible, para que otras moléculas encajen en ella y entren en contacto; de otro modo tendrían que esperar a encontrarse casualmente (por eso los enzimas aceleran espectacularmente las reacciones químicas). La elegancia de este sistema es una de las claves que hace posible la vida, pero plantea un problema. Las moléculas enzimáticas suelen ser capaces de arrollarse en más de una forma y, por lo general, sólo una de ellas es deseable. Buena parte de la labor de la selección natural a lo largo de millones de años ha sido encontrar moléculas «decisivas» o «testarudas», cuya preferencia por una forma «favorita» es mucho más fuerte que su tendencia a adoptar cualquier otra conformación. Las moléculas con dos formas alternativas pueden constituir una amenaza trágica. La enfermedad de las «vacas locas», la encefalopatía ovina y sus equivalentes humanos, el kuru y la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob, son causadas por priones, proteínas que tienen dos formas alternativas. Normalmente se pliegan en una configuración que tiene una función útil. Pero ocasionalmente adoptan la forma alternativa, y entonces ocurre algo terrible. La presencia de una proteína con la forma alternativa induce a otras a dejarse persuadir por la bribona. Una epidemia de proteínas deformes se extiende por el cuerpo como una cascada de fichas de dominó que caen. Una única proteína deformada puede infectar otro cuerpo y desencadenar un nuevo efecto dominó. La consecuencia es la muerte por esponjamiento del cerebro, porque en su forma alternativa la proteína no puede realizar su tarea normal.

Los priones han causado cierta confusión porque se propagan como virus autorreplicantes, pero se trata de proteínas, y se supone que las proteínas no se autorreplican. Los manuales de biología dicen que la autorreplicación es un privilegio de los polinucleótidos (ADN y ARN). Sin embargo, los priones sólo son autorreplicantes en el sentido peculiar de que una molécula deforme «persuade» a sus vecinas para que adopten la misma forma.

En otros casos, una enzima con dos formas alternativas saca partido de su capacidad de conmutación. Después de todo, dicha capacidad es la propiedad esencial de los transistores, los diodos y otras puertas electrónicas de alta velocidad que hacen posibles las operaciones lógicas de los ordenadores (si, NO, Y, o y demás). Hay proteínas «alostéricas» que cambian de estado a la manera de un transistor, no por la «persuasión» infecciosa de una vecina, como en los priones, sino sólo si se da alguna condición biológicamente útil, y NO se dan otras. La rodopsina es una de estas proteínas «transistor». Como una fotocélula, salta al estado alternativo cuando la luz incide sobre ella. Automáticamente revierte a la forma previa tras un breve periodo de recuperación. En uno de sus dos estados es un potente catalizador, pero no en el otro. Así, cuando la luz hace que adopte su forma activa, se inicia una reacción en cadena y un rápido trasiego de moléculas. Es como si la luz abriera un grifo de alta presión.

El producto final de la cascada química resultante es una corriente de impulsos nerviosos que son transmitidos al cerebro a través de una serie de neuronas, cada una de las cuales es un tubo largo y delgado. También los impulsos nerviosos son cambios químicos acelerados catalíticamente. Estos recorren los tubos largos y delgados como regueros de pólvora. Cada impulso es discreto y está separado de los demás, de modo que llegan al otro extremo del tubo como una serie de recepciones cortas y escuetas. La tasa de llegada de impulsos nerviosos (que puede ser de cientos por segundo) es una representación codificada de, en este caso, la intensidad de la luz que incide sobre el bastón o el cono. En lo que concierne a una neurona, la diferencia entre una estimulación fuerte y una débil es la que hay entre una ametralladora de alta velocidad y el fuego intermitente de un rifle.

Hasta aquí, lo que he dicho es aplicable tanto a los bastones como a los conos. Veamos ahora en qué difieren. Los conos responden únicamente a la luz brillante. Los bastones son sensibles a la luz mortecina y son, por tanto, necesarios para la visión nocturna. Los bastones se distribuyen laxamente por toda la retina, de manera que no sirven para resolver detalles finos. No se puede leer con los bastones. Leemos con los conos, que se concentran en una región particular de la retina, la fovea. Cuanto más densamente empaquetados están los conos, más finos son los detalles resolubles.

Los bastones no intervienen en la visión de los colores porque todos reaccionan a las mismas longitudes de onda. La máxima sensibilidad corresponde a la luz amarilla, en la parte central del espectro visible, y disminuye hacia ambos extremos del espectro. Esto no significa que el cerebro interprete la información que envían como luz amarilla. Ni siquiera tiene sentido decir esto. Todas las neuronas informan al cerebro en forma de impulsos nerviosos, y eso es todo. Si un bastón emite con una frecuencia alta, ello puede significar o bien que hay un exceso de luz roja o azul, o bien que falta luz amarilla. Para resolver la ambigüedad el cerebro necesita informes simultáneos de células de varios tipos diferencialmente sensibles a los distintos colores.

Aquí es donde entran en escena los conos. Los tres tipos de conos poseen tres diferentes aderezos de rodopsina. Todos ellos responden a todas las longitudes de onda, pero un tipo es más sensible a la luz azul, otro lo es más a la luz verde, y el tercero es más sensible a la luz roja. Comparando las frecuencias de emisión de cada tipo de cono (en realidad, restando unas de otras) el sistema nervioso es capaz de reconstruir las longitudes de onda de la luz que incide en la parte relevante de la retina. A diferencia de la visión mediante bastones sólo, el cerebro no duda entre la luz mortecina de un color y la luz brillante de otro. Al recibir informes de más de un tipo de cono, el cerebro es capaz de computar el verdadero color de la luz.

Como dije al recordar al doctor Dolittle en la Luna, los colores que creemos ver son etiquetas que el cerebro usa por conveniencia. Antes solían decepcionarme las imágenes en «falso color», como las fotografías de la Tierra por satélite o las imágenes del espacio profundo construidas por ordenador. El pie de foto dice que los colores son codificaciones arbitrarias de, por ejemplo, los distintos tipos de vegetación en una imagen de África vista desde un satélite. Solía pensar que las imágenes en colores falsos eran una especie de engaño. Quería saber cuál era el colorido «real» de la escena. Ahora me doy cuenta de que los colores que creo ver, incluso los de mi propio jardín a través de la ventana, son «falsos» en el mismo sentido: convenciones arbitrarias usadas, en este caso por mi cerebro, como etiquetas convenientes para las longitudes de onda de la luz. En el capítulo 11 se argumenta que todas nuestras percepciones son una especie de «realidad virtual constreñida» construida en el cerebro. (En realidad, ¡todavía me decepcionan las imágenes en colores falsos!)

Nunca podremos saber si las sensaciones subjetivas que distintas personas asocian con longitudes de onda concretas son las mismas. Podemos comparar sus opiniones sobre qué colores parecen ser mezclas de cuáles otros. La mayoría de nosotros encuentra plausible que el naranja sea una mezcla de rojo y amarillo. La condición de mezcla del azul verdoso es comunicada por la misma denominación compuesta, aunque no por la palabra «turquesa». Es discutible que los diferentes lenguajes coincidan en su repartición del espectro. Algunos lingüistas afirman que el idioma gales no divide la región verde y azul del espectro igual que el inglés. Se dice que el gales tiene una palabra que corresponde a una parte del verde y otra que corresponde a la otra parte del verde más una parte del azul. Otros lingüistas y antropólogos afirman que esto es un mito, no más cierto que la afirmación igualmente seductora pero no comprobada de que los inuit («esquimales») tienen 50 palabras distintas para la nieve. Estos escépticos afirman que existen pruebas experimentales, obtenidas presentando una amplia gama de fichas de colores a hablantes nativos de muchos idiomas, de que existen proposiciones universales robustas en el modo en que los seres humanos dividen el espectro. Las pruebas experimentales son, en efecto, la única forma de zanjar la cuestión. No importa nada que, al menos para este angloparlante, el relato de la partición galesa del azul y el verde suene implausible. No hay nada en la física que se oponga a ello. Los hechos, sean lo que sean, pertenecen a la psicología.

A diferencia de las aves, cuya visión cromática es excelente, muchos mamíferos carecen de una auténtica visión del color. Otros, entre los que se incluyen algunos seres humanos parcialmente ciegos para los colores, emplean un sistema bicromático basado en dos clases de conos. La visión tricromática de alta calidad pudo haber evolucionado en nuestros antepasados primates para facilitar la localización de frutos en la selva verde. John Mollon, un psicólogo de Cambridge, ha llegado a sugerir que el sistema de tres colores «es una estrategia inventada por ciertos árboles frutales para propagarse»: una forma imaginativa de llamar la atención sobre el hecho de que los árboles atraen a los mamíferos para que coman sus frutos y diseminen sus semillas. Las poblaciones de algunas especies de monos del Nuevo Mundo incluyen individuos con combinaciones distintas de sistemas bicromáticos, que están, por lo tanto, especializados en ver cosas distintas. Nadie sabe

qué beneficio obtienen de esto, pero un hecho sugerente es que, durante la segunda guerra mundial, las tripulaciones de bombarderos incluían preferiblemente al menos un miembro daltónico, inmune a ciertos tipos de camuflaje sobre el suelo.

Al destejer el arco iris ampliado, al desplazarnos por el espectro electromagnético, separamos una emisora de otra en el dial de la radio, aislamos una conversación de otra en la red de teléfonos móviles. Sin este destejimiento sensible del arco iris electromagnético, oíríamos todas las conversaciones y todas las emisoras de radio juntas, en una algarabía de ruido blanco. De otra manera, y con ayuda de ordenadores especiales, este mismo destejimiento subyace tras la imaginería de resonancia magnética, la espectacular técnica mediante la que los médicos pueden hoy discernir la estructura tridimensional de nuestros órganos internos.

Cuando una fuente de ondas se mueve en relación al detector, ocurre algo especial. Existe un «desplazamiento Doppler» de las longitudes de onda detectadas. Esto es fácil de advertir en el caso de las ondas sonoras porque su velocidad de propagación es lenta. El sonido del motor de un automóvil tiene un tono claramente más alto cuando se acerca a nosotros que cuando se aleja. Por ese motivo oímos el característico tono dual «iiiiii-eeeeee». En 1845, el científico holandés Buys Ballott contrató una banda de música para que tocara en un vagón de tren abierto mientras éste pasaba rápidamente ante su audiencia; de esta forma verificó por primera vez la predicción de Doppler. Las ondas luminosas viajan tan deprisa que sólo advertimos el efecto Doppler si nos acercamos muy deprisa a la fuente de luz (en cuyo caso la luz se desplaza hacia el extremo azul del espectro) o nos alejamos de ella (en cuyo caso la luz se desplaza hacia el rojo). Esto es lo que ocurre con las galaxias distantes. El hecho de que se están alejando rápidamente de nosotros se descubrió en virtud del desplazamiento Doppler de su luz. Ésta es más roja de lo que debiera, porque las longitudes de onda están desplazadas en bloque hacia el extremo rojo del espectro.

¿Cómo sabemos que la luz procedente de una galaxia distante está desplazada hacia el rojo? ¿Cómo sabemos que no era ya roja cuando emprendió el viaje? Esto puede saberse utilizando las líneas de Fraunhofer como marcadores. Recordemos que cada elemento químico tiene un «código de barras» propio. El espaciado entre las líneas es tan ca-

racterístico como una huella dactilar, pero también lo es la posición precisa de cada línea en el espectro. La luz de una galaxia distante muestra códigos de barras con pautas de espaciado familiares. Esta misma familiaridad es la que nos dice que las otras galaxias están constituidas por las mismas sustancias que la nuestra. Pero cada pauta está desplazada una distancia fija hacia el extremo de onda larga del espectro: es más roja de lo que debiera ser. En los años veinte, el astrónomo norteamericano Edwin Hubble (cuyo nombre lleva ahora el primer telescopio espacial) descubrió que los espectros de las galaxias distantes están desplazados hacia el rojo. Las galaxias con un desplazamiento hacia el rojo más pronunciado son también las más distantes, según se estima por la tenuidad de su luz. La famosa conclusión de Hubble (aunque ya había sido sugerida por otros antes) fue que el universo se está expandiendo, y desde cualquier punto de observación dado las galaxias parecen alejarse a velocidad creciente.

Cuando miramos una galaxia distante, estamos mirando muy atrás en el pasado, porque la luz ha tardado miles de millones de años en llegar hasta nosotros. Se ha hecho más tenue, y por esto sabemos que ha recorrido una gran distancia. La velocidad con que nuestra galaxia se aleja de ella ha tenido el efecto de desplazar el espectro hacia el extremo rojo. La relación entre distancia y velocidad de alejamiento obedece a la «ley de Hubble». Extrapolando esta relación cuantitativa hacia atrás podemos estimar cuándo comenzó a expandirse el universo. En el lenguaje de la teoría ahora generalmente aceptada de la «Gran Explosión» o Big Bang, el universo empezó con una explosión gigantesca hace entre diez mil y veinte mil millones de años. Todo esto se infiere a partir del destejimiento del arco iris. Desarrollos posteriores de la teoría, respaldados por toda la evidencia disponible, sugieren que el tiempo mismo tiene su origen en esta madre de todos los cataclismos. Es probable que el lector no comprenda, y yo desde luego tampoco, qué puede significar que el tiempo mismo empezó en un momento dado. Pero, una vez más, se trata de una limitación de nuestra mente, diseñada para habérselas con objetos bastante grandes y lentos en las sabanas africanas, donde los sucesos acontecen en orden y cada suceso tiene un antes. Un suceso sin un antes aterroriza a nuestra pobre razón. Quizá sólo podamos apreciarlo mediante la poesía. Keats, debieras estar vivo en este momento.

¿Habrá ojos en las otras galaxias que miren hacia atrás, hacia nosotros? Hacia atrás, porque sólo pueden ver nuestro pasado. Los habitantes de un mundo situado a 100 millones de años luz de distancia podrían ver en este momento, si es que pudieran ver algo de nuestro planeta, dinosaurios desplazados hacia el rojo acometiéndose en llanuras teñidas de rosa. ¡Qué lástima!, aunque haya otras criaturas en el universo, y aunque tengan ojos, es improbable que, por potentes que sean sus telescopios, éstos tengan el poder de resolución necesario para ver nuestro planeta, y mucho menos a sus habitantes. Nosotros no hemos visto nunca otro planeta fuera de nuestro sistema solar. Ni siquiera hemos sabido de los planetas exteriores de nuestro propio sistema solar hasta hace apenas siglo y medio. Neptuno y Plutón son demasiado tenues para verse a simple vista. Si supimos hacia dónde apuntar el telescopio fue por los cálculos realizados a partir de minúsculas perturbaciones en las órbitas de los planetas más cercanos. En 1846, dos astrónomos matemáticos, J.C. Adams en Inglaterra y U.J.J. Leverrier en Francia, cada uno por su cuenta, detectaron una discrepancia entre la posición real del planeta Urano y la que teóricamente debería tener. Ambos calcularon que la perturbación podía deberse a la gravedad de un planeta invisible de cierta masa situado en una órbita concreta. El astrónomo alemán J.G. Galle apuntó su telescopio en la dirección correcta y descubrió Neptuno. Plutón se descubrió de la misma manera, tan tarde como en 1930, por el astrónomo norteamericano C.W. Tombaugh, alertado por sus efectos gravitatorios (mucho más pequeños) sobre la órbita de Neptuno. John Keats habría apreciado la emoción que sintieron estos astrónomos:

Entonces sentíme como un vigilante de los cielos
Cuando un nuevo planeta nada hasta su vista;
O como el intrépido Cortés cuando, con ojos de águila
Contempló el Pacífico (y todos sus hombres
Se miraron unos a otros con un loco barrunto),
Silencioso desde lo alto de un pico en Darién.⁷

«Al mirar por primera vez el Hornero de Chapman» (1816)

7. Then felt I like some watcher of the skies / When a new planet swims into his ken; / Or like stout Cortes when with eagle eyes / He stared at the Pacific — and all his men / Look'd at each other with a wild surmise - / Silent upon a peak in Darien.

He sentido siempre un afecto especial por estos versos desde que un editor me los citó tras una primera lectura del manuscrito de *El relojero ciego*.

Ahora bien, ¿hay planetas alrededor de otras estrellas? Importante pregunta ésta, cuya respuesta afecta a nuestra estimación de la ubicuidad de la vida en el universo. Si en todo el universo sólo hay una estrella que tenga planetas, ésta es nuestro Sol, y en ese caso estamos muy, muy solos. En el otro extremo, si toda estrella es el centro de un sistema solar, el número de planetas potencialmente aptos para la vida excede lo calculable. En cualquier caso, sean cuales sean las posibilidades de existencia de vida, si encontramos planetas en órbita alrededor de otra estrella típica además de nuestro Sol, nos sentiremos sensiblemente menos solos.

Los planetas están demasiado cerca de sus soles, y demasiado velados por su brillo, para que nuestros telescopios nos permitan verlos en condiciones normales. El principal indicio de que otras estrellas tienen planetas (y el descubrimiento se hizo esperar hasta la década de 1990) es, de nuevo, las perturbaciones orbitales, esta vez detectadas por los desplazamientos Doppler en el espectro estelar. Tendemos a imaginar los sistemas planetarios como un sol central alrededor del cual orbitan planetas. Pero Newton nos dice que dos cuerpos orbitan uno alrededor del otro. Si dos estrellas son de masa parecida (lo que se conoce como par binario), cada una gira alrededor de la otra como un par de pesas unidas por una barra. Si son muy desiguales, parecerá que la más ligera orbita alrededor de la más pesada. Cuando un cuerpo es mucho mayor que el otro, como el Sol respecto de Júpiter, el más pesado apenas se balancea y casi permanece inmóvil, mientras que el más ligero gira en torno suyo como un terrier da vueltas alrededor de su amo cuando éste lo saca a pasear.

Son estos balanceos en las posiciones de las estrellas los que delatan la presencia de planetas en órbita que, de otro modo, serían invisibles. Pero los balanceos en sí son demasiado pequeños para ser observables; de hecho, son menos discernibles aún que los propios planetas. De nuevo, el destejimiento del arco iris acude a socorremos. Cuando una estrella se balancea por la influencia de un planeta en órbita, su luz nos llega desplazada hacia el rojo cuando se aleja de nosotros y desplazada hacia el azul cuando se acerca. Los planetas delatan su presencia

al causar oscilaciones rojo/azul, minúsculas pero medibles, en la luz que nos llega procedente de sus estrellas madres. De la misma manera, los habitantes de un planeta distante podrían detectar la presencia de Júpiter observando los cambios de matiz rítmicos del Sol. Júpiter es probablemente el único planeta de nuestro sistema solar lo bastante grande para ser detectable de esta manera. Nuestro humilde planeta es demasiado minúsculo para producir ondas gravitatorias detectables por alienígenas. Sin embargo, éstos podrían advertir nuestra presencia destejando el arco iris de las señales de radio y televisión que hemos estado emitiendo en las últimas décadas. La burbuja esférica de vibraciones en expansión, que ahora tiene más de un siglo-luz de diámetro, abarca ya un número significativo de estrellas, aunque sean una proporción insignificante de las que pueblan el universo. En su novela *Contacto*, Carl Sagan hacía la sombría observación de que en la vanguardia de las imágenes que anuncian la Tierra al resto del universo estará el discurso de Hitler en la inauguración de los Juegos Olímpicos de 1936 en Berlín. Hasta el momento no se ha detectado ninguna respuesta, ningún mensaje de ningún tipo procedente de ningún otro mundo.

Nunca hemos tenido ninguna razón directa para suponer que no estamos solos. Cada una a su manera, la posibilidad de que el universo bulla de vida y la posibilidad opuesta de que estemos totalmente solos son igualmente estimulantes. En cualquier caso, el ansia de saber más del universo me parece irresistible, y no puedo imaginar que nadie con verdadera sensibilidad poética pueda estar en desacuerdo con esto. Encuentro divertidamente irónico que hayamos descubierto tal cantidad de cosas que son extrapolación directa del destejimiento del arco iris. Y es seguro que la belleza poética de lo revelado por este destejimiento, desde la naturaleza de las estrellas hasta la expansión del universo, no dejaría de cautivar la imaginación de Keats, llevaría a Coleridge a un arrobamiento frenético, y haría que el corazón de Wordsworth saltara como nunca antes lo hizo.

En una conferencia de 1975, el gran astrofísico indio Subrahmanyan Chandrasekhar dijo:

Este «estremecimiento ante lo hermoso», este hecho increíble de que un descubrimiento motivado por una búsqueda de la belleza en

matemáticas encuentre su réplica exacta en la naturaleza, me persuade de que la belleza es aquello a lo que la mente humana responde en lo más hondo y profundo.

Cuánto más sincero suena esto que la expresión mejor conocida de Keats de una emoción superficialmente similar:

«La belleza es verdad, la verdad belleza»; esto es todo Lo que sabéis en la Tierra, y todo lo que necesitáis saber.

«Oda a una urna griega» (1820)

Keats y Lamb deberían haber brindado por la poesía, y por las matemáticas, y por la poesía de las matemáticas. Wordsworth no habría necesitado que se le animara a hacerlo. Él (y Coleridge) se habían inspirado en el poeta escocés James Thomson, y quizá recordaran su poema «A la memoria de Sir Isaac Newton» (1727):

... Incluso la misma luz, que todas las cosas exhiben,
Resplandecía ignorada, hasta que su mente más brillante
Desenrolló todo el ropaje resplandeciente del día;
Y, a partir del esplendor emblanquecido indistinguible,
Agrupando cada rayo en los de su clase,
Al ojo cautivado edujo la espléndida comitiva
De colores principales. Primero el rojo flamígero
Brotó vivo; a continuación el naranja atezado;
Y después el delicioso amarillo; a cuyo lado
Cayeron los rayos amables del refrescante verde.
Después el azul puro, que llena los cielos otoñales,
Y que cae etéreo; y después, de un tono más triste,
Surgió el índigo oscuro, como cuando
La tarde de fuertes contornos languidece con escarcha;
Mientras que los últimos destellos de luz refractada
Se extinguieron gradualmente en el débil violeta.
Éstos, cuando las nubes destilan el chubasco favorable,
Resplandecen distintos bajo el acuoso arco;
Mientras que sobre nuestras cabezas la fresca visión se comba
Deliciosa, fundiéndose en los campos de abajo.

Miríadas de tonos que se mezclan resultan de ellos,
Y todavía quedan miríadas... fuente infinita
De belleza, siempre fluyentes, siempre nuevos.
¿Acaso poeta alguno pudo imaginar nada tan bello,
Soñando en el bosque susurrante junto al áspero arroyo?
¿O un profeta, sobre cuyo éxtasis descende el cielo?
Incluso ahora el sol poniente y las nubes cambiantes,
Vistos, Greenwich, desde tus deliciosas alturas, declaran
Cuan justa es, y cuan hermosa, la ley de la refracción.

4 Códigos de barras en el aire

Encontraremos el Cubo del Arco iris,
De ello, no hay duda.
Pero la conjetura del Arco de un Amante
Elude el descubrimiento.'

Emily Dickinson (1894)

En el argot radiofónico, «en el aire» significa que se está emitiendo. Pero las ondas de radio no tienen nada que ver con el aire; es mejor considerarlas ondas luminosas invisibles con longitudes de onda largas. Las ondas aéreas sólo pueden significar razonablemente una cosa: sonido. Este capítulo trata del sonido y otras ondas lentas, y de cómo pueden destejarse igual que el arco iris. Las ondas sonoras viajan a una velocidad del orden de un millón de veces menor que la de las ondas luminosas (o de radio), no mucho más rápido que un Boeing 747 y bastante más despacio que un Concorde. A diferencia de la luz y demás radiaciones electromagnéticas, que se propagan mejor a través del vacío, las ondas sonoras viajan sólo a través de un medio material, como el aire o el agua. Son ondas de compresión y rarefacción del medio. En el aire, esto significa ondas de incremento y decremento de la presión barométrica local. Nuestros oídos son diminutos barómetros capaces de discernir cambios de presión rítmicos de alta velocidad. Los oídos de los insectos funcionan de otra manera completamente distinta. Para comprender la diferencia, antes tenemos que hacer una pequeña digresión para examinar qué es realmente la presión.

Sentimos presión sobre nuestra piel, por ejemplo, cuando colocamos la mano sobre la espita de una bomba de bicicleta, como una especie de empujón elástico. En realidad, la presión es el bombardeo

1. *We shall find the Cube of the Rainbow, / Of that, there is no doubt. / But the Arc of a Lover's conjecture / Eludes the finding out.*

acumulativo de miles de moléculas de aire que siguen trayectorias aleatorias. (Cuando hay viento, las moléculas fluyen predominantemente en una dirección determinada.) Si se mantiene la palma de la mano contra un viento fuerte, se siente el bombardeo de moléculas equivalente a la presión. Las moléculas dentro de un espacio confinado, como el interior de un neumático de bicicleta bien hinchado, presionan hacia fuera, sobre las paredes del neumático, con una fuerza proporcional al número de moléculas presentes y a la temperatura. A cualquier temperatura superior a -273°C (la temperatura más baja posible, que corresponde a la completa inmovilidad de las moléculas), las moléculas tienen un movimiento aleatorio que las hace rebotar continuamente unas contra otras como bolas de billar. También rebotan contra la pared interior del neumático, lo que se percibe como presión. Como efecto adicional, cuanto mayor es la temperatura más rápido viajan las moléculas por todas partes (de hecho, esto es lo que significa la temperatura), de manera que la presión de un volumen de aire dado aumenta cuando se calienta. Por la misma razón, la temperatura de una cantidad de aire dada aumenta cuando se la comprime, es decir, cuando se aumenta la presión reduciendo el volumen.

Las ondas sonoras son oscilaciones de presión locales. La presión total en, pongamos por caso, una habitación cerrada está determinada por el número de moléculas presentes y por la temperatura, y estos números no cambian a corto plazo. Por término medio, cada centímetro cúbico de la habitación tendrá el mismo número de moléculas que cualquier otro centímetro cúbico, y por lo tanto la misma presión. Pero esto no impide que se den variaciones locales de presión. El centímetro cúbico *A* puede experimentar un aumento momentáneo de la presión a expensas del centímetro cúbico *B*, que temporalmente le ha donado algunas moléculas. La presión aumentada en *A* tenderá a devolver las moléculas a *B* y restablecer el equilibrio. A la escala mucho mayor de la geografía, en esto consisten los vientos: flujos de aire desde zonas de presión alta hasta zonas de presión baja. A una escala menor, los sonidos pueden interpretarse del mismo modo, pero no pueden considerarse vientos porque oscilan muy deprisa atrás y adelante.

Si se hace sonar un diapasón en el centro de una habitación, la vibración perturba las moléculas de aire locales haciendo que colisionen con las moléculas de aire vecinas. El diapasón vibra a una frecuencia

determinada, causando ondas de perturbación que se propagan en todas direcciones como una serie de capas en expansión. Cada frente de onda es una zona de presión aumentada, a cuya estela viene una zona de presión reducida. El frente de onda siguiente llega tras un intervalo determinado por el régimen de vibración del diapasón. Si se fija un barómetro diminuto y de respuesta muy rápida en cualquier punto de la habitación, la aguja del mismo oscilará cada vez que un frente de onda llegue a él. La tasa a la que oscila la aguja del barómetro es la frecuencia del sonido. El oído de los vertebrados no es otra cosa que un barómetro de respuesta rápida. El tímpano oscila por efecto de las presiones cambiantes sobre él. Está conectado (a través de tres huesos diminutos, los famosos martillo, yunque y estribo, que la evolución secuestró a partir de los huesos de la articulación mandibular de los reptiles) a una especie de arpa invertida en miniatura, llamada cóclea. Como en un arpa, las «cuerdas» de la cóclea se disponen en un marco de anchura decreciente. Las cuerdas del extremo estrecho del marco vibran en simpatía con los tonos agudos, mientras que las del extremo ancho lo hacen en simpatía con los tonos graves. Los nervios que parten de la cóclea están cartografiados ordenadamente en el cerebro, de modo que éste puede saber si el sonido que hace vibrar el tímpano es grave o agudo.

Los oídos de los insectos, en cambio, no son barómetros en miniatura, sino pequeñas veletas que miden el flujo de moléculas como si fuera viento, aunque de un tipo peculiar, pues sólo se desplaza una distancia muy corta antes de cambiar de sentido. El frente de onda expansivo que detectamos como un cambio de presión es también una onda de movimiento molecular: hacia un área local cuando la presión sube y fuera de ese área cuando baja. Mientras que nuestros oídos barométricos poseen una membrana que cierra un espacio confinado, los oídos de giralda de los insectos poseen un pelo o una membrana tendidos sobre una cámara abierta. Sea cual sea el dispositivo, éste es literalmente zarandeado por las oscilaciones rítmicas de las moléculas.

Para los insectos es pan comido percibir la dirección de un sonido. Cualquier tonto con una veleta puede distinguir un viento del norte de un viento del este, e igual de fácil resulta para un oído de insecto distinguir una oscilación norte-sur de una oscilación este-oeste. La direccionalidad es inherente al método de detección del sonido de los insectos.

tos. Los barómetros son otra cosa. Un aumento de presión es sólo un aumento de presión, sin que importe la procedencia de las moléculas suplementarias. Eso explica que los vertebrados, con nuestros oídos barométricos, tengamos que calcular la dirección del sonido comparando la información de ambos oídos, de forma parecida a como calculamos el color comparando los informes de los distintos tipos de conos. El cerebro compara el volumen del sonido que llega a ambos oídos y, aparte, compara el tiempo de recepción de los sonidos (en especial los entrecortados) por parte de uno y otro oído. Algunos tipos de sonido se prestan menos que otros a tales comparaciones. El canto de los grillos tiene un tono y un ritmo ingeniosamente diseñados para que resulte difícil de localizar por los oídos de los vertebrados, pero los grillos hembra no tienen ningún problema para dirigirse hacia la fuente del sonido. Algunos chirridos de grillo incluso crean la ilusión, al menos en mi cerebro de vertebrado, de que el grillo (que en realidad está inmóvil) está saltando como un petardo buscapiés.

Las ondas sonoras forman un espectro de longitudes de onda análogo al arco iris. El arco iris sonoro es también susceptible de ser destejido, razón por la cual es posible extraer el sentido de los sonidos. De la misma manera que nuestras sensaciones de color son las etiquetas que el cerebro asigna a las distintas longitudes de onda de la luz, las etiquetas internas equivalentes para los sonidos son los distintos tonos. Pero en el sonido hay mucho más que el simple tono, y aquí es donde el destejimiento hace valer sus méritos.

Un diapasón o una armónica de cristal (un instrumento favorito de Mozart, formado por cuencos de cristal afinados según la cantidad de agua que contienen, y que se hacen sonar pasando un dedo húmedo alrededor del borde) emiten un sonido cristalino puro. Los físicos los denominan ondas sinusoidales. Las ondas sinusoidales son las más simples, una especie de ondas teóricas ideales. Las curvas suaves que serpentean a lo largo de una cuerda cuando se agita uno de sus extremos son ondas más o menos sinusoidales, aunque de una frecuencia mucho más baja que las ondas sonoras. La mayoría de sonidos no son ondas sinusoidales simples, sino más dentadas y complicadas, como veremos. Por el momento, pensaremos en un diapasón o una armónica de cristal que emiten ondas de presión sinusoidales que se alejan del origen en esferas concéntricas expansivas. Un oído barométrico situado

en cierto punto detecta un suave aumento de presión seguido de un suave descenso, oscilando rítmicamente sin ensortijamientos ni culebrees. Cada vez que la frecuencia se duplica (o lo que es lo mismo, cada vez que la longitud de onda se divide por dos) oímos un salto de una octava. Las frecuencias muy bajas, las notas más bajas del órgano, hacen vibrar nuestro cuerpo y apenas son captadas por nuestros oídos. Las frecuencias muy altas no son audibles para los seres humanos (en especial para los de más edad), pero sí para los murciélagos, que las usan, en forma de ecos, para encontrar su camino. Éste es uno de los relatos más cautivadores de la historia natural, pero le dediqué todo un capítulo en *El relojero ciego*, de modo que resistiré la tentación de ampliarlo.

Aparte de los diapasones y armónicas de cristal, las ondas sonoras sinusoidales son una abstracción matemática. Los sonidos reales son en su mayoría mezclas más complicadas, y compensan con creces el esfuerzo de destejeros. Nuestro cerebro los desenreda sin esfuerzo y con un efecto sorprendente. Sólo con mucho trabajo nuestra comprensión matemática ha conseguido captar, de forma torpe e incompleta, lo que nuestros oídos han destejido sin esfuerzo (y nuestro cerebro ha vuelto a tejer) desde la infancia.

Supóngase que hacemos oscilar un diapasón con una frecuencia de 440 ciclos por segundo, o 440 Hertz (Hz). Oiremos un tono puro, la nota *la* de la octava media. ¿Cuál es la diferencia entre éste y un violín, un clarinete, un oboe y una flauta que tocan todos la misma nota *la*? La respuesta es que cada instrumento produce ondas suplementarias cuyas frecuencias son múltiplos de la frecuencia fundamental. Cualquier instrumento que toque la nota *la* de la octava media emitirá la mayor parte de su energía sonora a la frecuencia fundamental, 440 Hz, pero superpuestas a ella habrá trazas de vibraciones a 880 Hz, 1320 Hz y así sucesivamente. Estas ondas se denominan «armónicos», aunque dicha palabra puede inducir a confusión, ya que las «armonías» son acordes de varias notas que percibimos como distintos. Una nota «única» de trompeta es en realidad una mezcla de armónicos, y la mezcla concreta una especie de «firma» de la trompeta que la distingue de, por ejemplo, un violín que toca la «misma» nota (con diferentes armónicos, los de la firma del violín). Existen complicaciones adicionales, que pasaré por alto, en torno al origen de los sonidos, por ejemplo la

irrupción insolente de un trompetazo o el zumbido estridente cuando un arco de violín golpea la cuerda.

Complicaciones aparte, existe una calidad característica de trompeta (o de violín, o lo que sea) en la parte sostenida de una nota. Es posible demostrar que el tono aparentemente único de un instrumento determinado es una construcción tejida por el cerebro mediante la suma de ondas sinusoidales. La demostración funciona como sigue. Una vez se ha decidido qué ondas sinusoidales están implicadas en, pongamos por caso, el sonido de la trompeta, se seleccionan los tonos puros «de diapason» apropiados y se hacen sonar uno tras otro. Durante un breve lapso se podrán oír las notas separadas, como un acorde de diapasones. Después, de forma un tanto misteriosa, se enfocan mutuamente, los «diapasones» desaparecen y se oye únicamente la, en palabras de Keats, trompeta plateada y refunfuñante, tocando el tono de la frecuencia fundamental. Se precisa un código de barras distinto de frecuencias combinadas para producir el sonido de un clarinete, y de nuevo se las puede distinguir fugazmente como «diapasones» separados antes de que el cerebro cree la ilusión de una nota de clarinete «de madera». El violín tiene su propio código de barras, y así sucesivamente.

Ahora bien, si el lector observa el trazado de la onda de presión cuando un violín emite una determinada nota, lo que verá es una complicada línea sinuosa que se repite a la frecuencia fundamental con oscilaciones menores de frecuencia superior superpuestas. Lo que ocurre es que las diferentes ondas sinusoidales que constituyen el ruido del violín se suman para constituir la complicada línea culebreante. Es posible programar un ordenador para analizar cualquier pauta ondulatoria complicada y obtener sus ondas componentes puras, las ondas sinusoidales separadas que el lector tendría que sumar para obtener la pauta compleja. Presumiblemente, cuando se escucha un instrumento se está realizando algo equivalente a este cálculo: el oído desteje primero las ondas sinusoidales componentes, y después el cerebro las vuelve a juntar, las teje y les asigna la etiqueta apropiada: «trompeta», «oboe» o lo que sea.

Pero nuestras hazañas inconscientes en materia de destejer y tejer son incluso mayores. Piense el lector en lo que ocurre cuando escucha una orquesta completa. Imagine que, superpuesto a cien instrumentos, su vecino en el concierto le está susurrando al oído una crítica musical

experta, otros están tosiendo y, lamentablemente, alguien por detrás está haciendo crujir un envoltorio de chocolate. Todos estos sonidos juntos hacen vibrar el tímpano del lector y se suman en una única onda de presión muy complicada. Sabemos que es una onda porque una orquesta completa, y todos los ruidos sueltos, pueden transformarse en **un** único surco sinuoso sobre un disco de vinilo, o en una única traza fluctuante de sustancia magnética en una cinta. El conjunto de vibraciones se suma en una única línea culebreante en el gráfico de presión de aire en función del tiempo, tal como lo registra el tímpano del lector. *Mirabile dictu*, el cerebro consigue separar el crujir del envoltorio del susurro, la tos del golpe de la puerta al cerrarse, y los diferentes instrumentos de la orquesta. Tal hazaña de destejer y tejer, o de análisis y síntesis, es casi increíble, pero lo hacemos sin esfuerzo y sin pensar. Los murciélagos son todavía más impresionantes, porque analizan ráfagas tartamudeantes de ecos para construir, en su cerebro, imágenes tridimensionales detalladas y rápidamente cambiantes del mundo, incluidos los insectos que capturan en vuelo, y hasta pueden discernir sus propios ecos de los de otros murciélagos.

La técnica matemática de descomponer formas ondulatorias en ondas sinusoidales que puedan sumarse de nuevo para obtener la línea culebreante original se denomina análisis de Fourier, por el matemático francés decimonónico Joseph Fourier. No sólo funciona para las ondas sonoras (en realidad, el propio Fourier desarrolló la técnica para una finalidad muy distinta), sino para cualquier proceso que varíe periódicamente, y no tienen por qué ser ondas de gran velocidad como el sonido o ultrarrápidas como la luz. Podemos concebir el análisis de Fourier como una técnica matemática conveniente para destejer «arcos iris» en los que la vibración que constituye el espectro es lenta comparada con la de la luz.

Por poner un ejemplo de vibración realmente lenta, hace poco vi, en una carretera del Parque Nacional Kruger de Sudáfrica, una línea húmeda serpenteante que seguía el trazado de la carretera y que parecía describir algún tipo de pauta repetitiva complicada. Mi anfitrión y experto guía me dijo que se trataba de una pista de orina de un elefante macho en celo. Cuando un elefante macho entra en este curioso estado de frenesí sexual (quizá el equivalente elefantino de un australiano en «vagareo») deja caer orina gota a gota de manera más o menos conti-

nua, aparentemente con fines de marcado por el olor. La ondulación del rastro de orina sobre la carretera era producto presumiblemente de que el largo pene se balanceaba como un péndulo (si hubiera sido un péndulo perfecto, newtoniano, habría producido una onda sinusoidal), lo que se sumaba a la periodicidad más complicada de la cansina marcha a cuatro patas del animal. Tomé fotografías con la vaga intención de realizar posteriormente un análisis de Fourier. Lamento decir que no he tenido tiempo de hacerlo, pero en teoría es factible. El trazado de la línea de orina fotografiada puede calcarse sobre papel milimetrado y sus coordenadas digitalizadas se pueden introducir en un ordenador. El ordenador puede realizar a continuación una versión moderna de los cálculos de Fourier y extraer las ondas sinusoidales componentes. Hay maneras más fáciles (aunque no necesariamente más seguras) de medir la longitud del pene de un elefante, pero habría sido divertido hacerlo, y seguramente el propio barón de Fourier se habría deleitado con un uso tan insospechado de sus matemáticas. En principio, nada impide que una pista de orina se fosilice, como lo hacen las huellas de pisadas y los moldes de gusanos, en cuyo caso podríamos utilizar el análisis de Fourier para medir la longitud del pene de un mastodonte o un mamut lanudo extinguidos a partir de la evidencia indirecta de su pista de orina en la época de celo. El pene de un elefante oscila a una frecuencia mucho más lenta que el sonido (aunque del mismo orden cuando se la compara con las frecuencias ultraaltas de la luz). La naturaleza nos ofrece otras formas ondulatorias de frecuencia mucho menor, en las que las longitudes de onda se miden en años o incluso millones de años. Algunas de ellas han sido sometidas al equivalente del análisis de Fourier, entre ellas los ciclos de las poblaciones animales. Desde 1736, la Compañía de la Bahía de Hudson conserva registros de la abundancia de pieles aportadas por los tramperos canadienses. Charles Elton (1900-1991), distinguido ecólogo de Oxford que fue empleado como asesor por la compañía, advirtió que estos registros podrían proporcionar una lectura de las poblaciones fluctuantes de las liebres árticas, los lince y otros mamíferos explotados por el comercio peletero. Las cifras suben y bajan en complicadas mezclas de ritmos que han sido ampliamente analizados. Entre las periodicidades reveladas por estos análisis hay una principal con una longitud de onda de unos cuatro años, y otra de unos 11 años.

Una hipótesis que se ha sugerido para explicar los ritmos de cuatro años es una interacción con demora entre predadores y presas (un hartazgo de presas alimenta a una plaga de predadores, que luego esquilman las presas; esto hace que buena parte de los predadores se muera de hambre, lo que permite un nuevo aumento de la población de presas, y así sucesivamente). En cuanto al ritmo más largo de 11 años, la conjetura más intrigante lo conecta con las manchas solares, de las que se sabe que siguen un ciclo de unos 11 años. La manera en que las manchas solares afectan a las poblaciones animales es tema de discusión. Quizá alteren el clima planetario, lo que afectaría a la abundancia de alimento vegetal.

Siempre que se descubren ciclos regulares de longitudes de onda muy largas, es probable que tengan un origen astronómico. Se derivan del hecho de que los objetos celestes suelen rotar sobre su propio eje, o seguir órbitas repetitivas alrededor de otros objetos celestes. Los ritmos de actividad de veinticuatro horas dominan casi todos los detalles de los seres vivos en este planeta. La razón última es la rotación de la Tierra sobre su propio eje, pero animales de muchas especies, incluida la nuestra, continúan sujetos a un ritmo de aproximadamente 24 horas aunque se les aisle del contacto directo con el día y la noche, lo que demuestra que han internalizado el ritmo y pueden mantenerlo aun en ausencia del marcador de paso externo. El ritmo lunar de 28 días es otro componente principal de la mezcla de ondas en las funciones corporales de muchos organismos, especialmente marinos. La Luna ejerce su influencia rítmica a través de la sucesión de pleamares y bajamares. El ritmo orbital de la Tierra, de algo más de 365 días, contribuye con su péndulo más lento a la suma de Fourier, y se manifiesta en forma de estaciones reproductoras, estaciones de migración, pautas de muda y crecimiento de libreas invernales.

Quizá la longitud de onda más larga resultante del destejimiento de los ritmos biológicos es un supuesto ciclo de 26 millones de años de extinciones en masa. Los expertos en fósiles estiman que más del 99 por ciento de las especies que han vivido en un momento u otro se han extinguido. Afortunadamente, la tasa de extinción se equilibra más o menos a largo plazo con la tasa de aparición de nuevas especies por segregación de las ya existentes. Pero ello no significa que a corto plazo permanezca constante. Bien al contrario. La tasa de extinción fluctúa

de un lugar a otro, y lo mismo pasa con la tasa de aparición de nuevas especies. Hay malos tiempos, en los que desaparecen especies, y buenos tiempos, en los que proliferan. El peor de los malos tiempos, el Armagedón más devastador, quizá sea el final del periodo Pérmico, hace aproximadamente doscientos cincuenta millones de años. Alrededor del 90 por ciento de todas las especies, tanto terrestres como marinas, se extinguió en aquella época terrible, entre ellas muchos reptiles de tipo mamiferiano. La fauna de la Tierra acabó recuperando su diversidad en la escena despojada, pero con un elenco de protagonistas bien distinto: en tierra los dinosaurios se introdujeron en la gama de vestuario que habían dejado los reptiles mamiferianos desaparecidos. La siguiente gran extinción en masa, y sobre la que ha corrido más tinta, es la famosa extinción del Cretácico, hace 65 millones de años, en la que todos los dinosaurios, y con ellos muchas otras especies, tanto terrestres como marinas, desaparecieron de forma instantánea hasta donde el registro fósil puede decirnos. En el acontecimiento del Cretácico se extinguió quizás el 50 por ciento de las especies, no tantas como en el Pérmico, pero así y todo una terrible tragedia global. De nuevo, la fauna devastada de nuestro planeta se recuperó, y aquí estamos los mamíferos, descendientes todos de unos pocos relictos afortunados de la que otrora fuera una rica fauna de reptiles mamiferianos. Ahora nosotros, junto con las aves, ocupamos los espacios que dejaron los dinosaurios extinguidos. Hasta, presumiblemente, la próxima gran extinción.

Ha habido muchos episodios de extinción en masa, no tan graves como los acontecimientos del Pérmico y del Cretácico, pero todavía noticiables en las crónicas de las rocas. Los paleontólogos estadísticos han hecho un recuento de las especies fósiles a lo largo de las eras geológicas y han suministrado estos datos a ordenadores para, mediante análisis de Fourier, extraer todas las oscilaciones posibles, como si escucharan notas de órgano absurdamente profundas. El ritmo dominante que se ha identificado (aunque esto es objeto de controversia) es una periodicidad de unos 26 millones de años. ¿Qué podría causar pautas de extinción con una longitud de onda tan formidablemente larga? Probablemente sólo un ciclo celeste.

Se están acumulando evidencias de que la catástrofe del Cretácico fue causada cuando un asteroide o cometa grande del tamaño de una

montaña, que viajaba a una velocidad de decenas de miles de kilómetros por hora, se anotó una diana sobre nuestro planeta, probablemente en algún lugar cerca de lo que hoy es la península del Yucatán, en el golfo de México. Los asteroides se arremolinan alrededor del Sol en un anillo que se encuentra dentro de la órbita de Júpiter. Hay allí muchísimos asteroides, los más pequeños de los cuales están cayendo continuamente sobre nosotros; unos cuantos de ellos son lo bastante grandes para causar extinciones cataclísmicas si llegaran a alcanzarnos. Los cometas tienen órbitas más amplias y excéntricas. Casi todos se encuentran bien lejos de lo que convencionalmente consideramos el sistema solar, pero algunos penetran en su interior en ocasiones, como hace el cometa Halley cada 76 años y el Hale Bopp cada 4000 años, más o menos. Quizás el evento del Pérmico fuera causado por un impacto cometario incluso mayor que el del Cretácico. Quizás el ciclo de 26 millones de años propuesto para las extinciones en masa es causado por un incremento rítmico en la tasa de impactos cometarios.

Pero ¿por qué tendría que ser más probable que los cometas nos golpearan cada 26 millones de años? Aquí nos lanzamos a la pura especulación. Se ha sugerido que el Sol tiene una estrella hermana, y que ambas giran una alrededor de otra con una periodicidad de unos 26 millones de años. Esta hipotética compañera binaria nunca vista, a pesar de lo cual ha recibido el espectacular nombre de Némesis, pasaría una vez por cada rotación orbital a través de la llamada Nube de Oort, el anillo de quizá un trillón de cometas que órbita el Sol más allá de los planetas. Si hubiera una Némesis que pasara cerca de la Nube de Oort o a través de ella, es plausible que perturbara las órbitas cometarias, y ello podría aumentar la probabilidad de que un cometa acabara impactando sobre la Tierra. Si todo esto ocurrió (y debe admitirse que la cadena de razonamiento es tenue), podría explicar la periodicidad de 26 millones de años en las extinciones en masa que algunos creen ver en el registro fósil. Resulta placentero pensar que el destejimiento matemático del ruidoso espectro de las extinciones animales pueda ser el único medio que tenemos de detectar la presencia de una estrella que de otro modo habría pasado inadvertida.

Empezando con las frecuencias ultraaltas de la luz y otras ondas electromagnéticas hemos pasado, a través de las frecuencias intermedias del sonido y el pene oscilante del elefante, a las frecuencias ultra-

bajas y a la supuesta longitud de onda de 26 millones de años de las extinciones en masa. Volvamos al sonido, y especialmente a esa hazaña culminante del cerebro humano, el tejido y destejido de los sonidos del habla. Las «cuerdas» vocales son en realidad un par de membranas que vibran al unísono en la laringe como un par de lengüetas de clarinete. Las consonantes se producen como interrupciones más o menos explosivas del flujo de aire, causadas por el cierre y contacto de los labios, dientes, lengua y parte posterior de la garganta. Las vocales varían igual que las trompetas difieren de los oboes. Producimos los distintos sonidos de las vocales de manera análoga a como un trompetista mueve la sordina para modificar las ondas sinusoidales preponderantes que se suman para formar el sonido compuesto. Las distintas vocales tienen diferentes combinaciones de armónicos por encima de la frecuencia fundamental. La frecuencia fundamental es más baja para los hombres que para las mujeres y los niños, pero las vocales que emiten los hombres suenan similares a las emitidas por las mujeres debido a la pauta de armónicos. Cada sonido vocal tiene una pauta característica de bandas de frecuencia, una vez más, su código de barras propio. En el estudio del habla, las bandas del código de barras se denominan «formantes».

Cualquier idioma, o dialecto de un idioma, posee una lista finita de vocales, y cada uno de estos sonidos tiene su propio código de barras formante. Otros idiomas, y los diferentes acentos dentro de ellos, tienen diferentes sonidos vocálicos que se producen manteniendo la boca y la lengua en posiciones intermedias, de nuevo de la misma manera que el trompetista coloca la sordina en el pabellón del instrumento. En teoría, hay un espectro continuo de sonidos vocálicos. Cada idioma hace uso de un repertorio discontinuo seleccionado a partir del espectro continuo de vocales disponibles. Los distintos idiomas seleccionan puntos distintos a lo largo del espectro. La vocal en el *tu* francés y en el *über* alemán, que no existe en el castellano, es aproximadamente intermedia entre *u* e *i*. No importa demasiado qué líneas selecciona un idioma a lo largo del espectro de vocales disponibles, mientras estén lo bastante espaciadas para evitar ambigüedades.

Para las consonantes la historia es más complicada, pero existe una gama similar de códigos de barras de consonantes, y los lenguajes reales emplean un subconjunto limitado de los disponibles. Algunos idio

mas emplean sonidos muy alejados del espectro de la mayoría de idiomas, como los chasquidos con la lengua de algunos lenguajes sudafricanos. Como ocurre con las vocales, los distintos idiomas parcelan de diferente manera el repertorio disponible. Algunos lenguajes del subcontinente indio poseen un sonido dental que es intermedio entre la *d* y la *t*. La *c* sorda del francés, como en *comme*, es intermedia entre la *c* sorda y la *g* sorda del castellano (y la *o* francesa es intermedia entre las vocales inglesas en *cod* y *cud*).² La lengua, los labios y la voz pueden modularse para producir una variedad de consonantes y vocales casi infinita. Cuando los códigos de barras se modelan en el tiempo para formar fonemas, sílabas, palabras y frases, la gama de ideas comunicables es ilimitada. Y, lo que resulta aun más extraño, las cosas que pueden comunicarse incluyen imágenes, ideas, sentimientos, amor y alborozo..., eso que Keats hace de manera tan sublime.

Me duele el corazón, y un entumecimiento amodorrado angustia Mi sentido,
 como si cicuta hubiera bebido, O vaciado algún insípido narcótico hasta el sumidero
 Transcurrido un minuto, y se hubiera hundido en dirección al Leteo:
 Y esto no es por sentir envidia de tu feliz suerte, Sino por ser demasiado feliz
 en tu felicidad... Que tú, dríada de alas ligeras de los árboles, En algún terreno
 melodioso De verdes hayas e innumerables sombras, Cantas al verano con la
 naturalidad y plenitud de tu garganta.³

«Oda a un ruiseñor» (1820)

Si estas palabras se leen en voz alta las imágenes saltan a nuestro cerebro, como si realmente estuviéramos embriagados por el canto veraniego de un ruiseñor en un frondoso hayedo. En un nivel, todo obedece a una pauta de ondas de presión, un patrón cuya riqueza se desteje primero en ondas sinusoidales en el oído y después se vuelve a tejer en el

2. «Bacalao» y «bolo alimenticio», respectivamente. (*N. del T.*)

3. *My heart aches, and a drowsy numbness pains / My sense, as though of hemlock I had drunk. / Or emptied some dull opiate to the drains / One minute past, and Lethe-wards had sunk: / 'Tis not through envy of thy happy lot, / But being too happy in thy happiness - / That thou, light-wingéd Dryad of the trees, / In some melodious plot / Of beechen green, and shadows numberless, / Singest of summer in full-throated ease.*

cerebro para reconstruir imágenes y emociones. Más extraño aún, esta pauta puede descomponerse matemáticamente en un flujo de números sin que pierda su capacidad de transportar y perturbar la imaginación. Cuando se hace un disco láser (cd) de, pongamos por caso, la *Pasión según San Mateo*, la onda de presión, con todos sus culebros y retorcimientos, se muestrea a intervalos frecuentes y se traduce en datos digitales. En principio, los dígitos podrían imprimirse como aburridos ceros y unos, blancos y negros, sobre montones de papel. Pero los números conservan la capacidad, si se reconvierten en ondas de presión, de conmover a un oyente hasta las lágrimas.

Quizá Keats no lo sugiriera literalmente, pero la idea de que el canto del ruiseñor funciona como una droga no es totalmente descabellada. Considérese su papel en la naturaleza y para qué fin lo ha modelado la selección natural. Los machos de ruiseñor deben influir en el comportamiento de las hembras y de los otros machos. Algunos ornitólogos han considerado que el canto transmite información: «Soy un macho de la especie *Luscinia megarhynchos*, en condición reproductora, con un territorio propio, preparado para procrear y construir un nido». Sí, el canto contiene esta información, en el sentido de que una hembra que actúe asumiendo su verdad puede beneficiarse de ello. Pero otra manera de verlo me ha parecido siempre más vivida. El canto no está informando a la hembra, sino *manipulándola*. No está modificando tanto lo que la hembra conoce como el estado fisiológico interno de su cerebro. Está actuando como una droga.

Existen pruebas experimentales, a partir de la medición de los niveles hormonales de hembras de palomas y canarios en relación con su comportamiento, de que el estado sexual de las hembras es influido directamente por las vocalizaciones de los machos, y los efectos se integran en cuestión de días. Los sonidos que emite un canario macho tienen un efecto sobre la hembra que es indistinguible del que puede provocar un experimentador con una jeringa hipodérmica. La «droga» del macho entra por los pórticos de sus oídos y no mediante una inyección, pero esta diferencia no parece demasiado significativa.

La idea de que el canto de los pájaros es una droga auditiva gana plausibilidad cuando se considera su desarrollo a lo largo de la vida individual. Típicamente, un ave canora aprende a cantar mediante la práctica: compara estrofas de prueba con una «plantilla» impresa en su

cerebro, una noción preprogramada de cómo «debería» sonar el canto de su especie. En algunas especies, como en el chingolito melódico americano (*Melospiza melodia*), la plantilla es innata y está programada por los genes. En otras especies, como el chingólo de corona blanca americano (*Zonotrichia leucophrys*) o el pinzón vulgar europeo (*Fríngilla coelebs*), es la «grabación» temprana del canto de otro macho adulto. Venga de donde venga la plantilla, el joven macho aprende cómo debe cantar para ajustarse a ella.

Ésta, al menos, es una manera de hablar sobre lo que ocurre mientras un pájaro joven perfecciona su canto. Pero pensémoslo de otra manera. En último término se pretende que el canto tenga un fuerte efecto sobre el sistema nervioso de otro congénere, sea una pareja en potencia o un posible rival territorial al que es preciso ahuyentar. Pero el joven pájaro es asimismo un miembro de su propia especie. Su cerebro es un cerebro específico. Es probable que un canto que tenga el efecto de despertar sus propias emociones sea igualmente apto para incitar a una hembra de su misma especie. En lugar de decir que el joven macho intenta conformar su canto de práctica a una «plantilla» innata, podríamos considerar que está practicando consigo mismo como ejemplar de su especie, probando estrofas para ver si excitan sus propias pasiones, es decir, experimentado sus drogas sobre sí mismo.

Para completar el circuito, quizá no sea tan sorprendente que el canto del ruiseñor pudiera haber actuado como una droga sobre el sistema nervioso de John Keats. El poeta no era un ruiseñor, pero sí un vertebrado, y la mayoría de drogas que tiene algún efecto sobre los seres humanos tienen un efecto comparable sobre otros vertebrados. Las drogas artificiales son el resultado de pruebas comparativamente toscas de ensayo y error que los químicos realizan en el laboratorio. La selección natural ha dispuesto de miles de generaciones para afinar su tecnología farmacológica.

¿Deberíamos indignarnos, en nombre de Keats, por tal comparación? No creo que el propio Keats lo hubiera hecho, y menos aún Coleridge. La «Oda a un ruiseñor» acepta la implicación de la analogía de la droga, la hace maravillosamente real. No es degradante para la emoción humana que intentemos analizarla y explicarla, de la misma manera que, para un árbitro imparcial, el arco iris no es rebajado por el hecho de que un prisma lo desteje.

En este capítulo y el anterior me he servido del código de barras como símbolo del análisis preciso, en toda su belleza. La luz mezclada se separa en su arco iris de colores componentes y todo el mundo ve belleza en ello. Esto es un primer análisis. Un análisis más detallado revela líneas finas y una nueva elegancia, la elegancia de la detección, de la producción de orden y comprensión. Los códigos de barras de Fraunhofer nos hablan de la naturaleza química precisa de las estrellas distantes. Una pauta de bandas medidas con precisión es un mensaje codificado de allende los parsecs. Hay gracia en la mera *economía* del destejimiento de los detalles íntimos de una estrella, detalles de los que se había creído que sólo podrían conocerse tras un costoso viaje que duraría tanto como 2000 vidas humanas. A otra escala, las bandas formantes del habla o los códigos de barras armónicos de la música nos cuentan un relato similar. Hay elegancia, asimismo, en los códigos de barras de la dendrocronología: los anillos de los troncos de los antiguos *Sequoia* nos dicen sin ambigüedad en qué año antes de nuestra era germinó el árbol, y cómo fue el clima en cada uno de los años intermedios (porque las condiciones meteorológicas son las que confieren a los anillos de la madera su grosor característico). Como las líneas de Fraunhofer transmitidas a través del espacio, los anillos de la madera nos transmiten mensajes a través del tiempo, y de nuevo se trata de una economía flexible. Es el poder (el hecho de que podamos aprender tanto mediante el análisis preciso de lo que parece una información tan escasa) lo que confiere a estos destejimientos su belleza. Lo mismo vale, quizá incluso de manera más espectacular, para las ondas sonoras del habla y de la música: códigos de barras en el aire.

Recientemente hemos estado oyendo muchas cosas acerca de otro tipo de código de barras: las «huellas dactilares» del ADN, códigos de barras en la sangre. Los códigos de barras del ADN exponen y reconstruyen detalles de los asuntos humanos que podrían suponerse inaccesibles incluso para los grandes detectives de leyenda. Hasta ahora, el principal uso práctico de los códigos de barras sanguíneos es en los tribunales de justicia, y de ellos (y de los beneficios que una actitud científica puede aportarles) trataremos en el próximo capítulo.

9 Códigos de barras en el estrado

Pero Él le dijo: ¡Ay también de vosotros, doctores de la Ley, que echáis pesadas cargas sobre los hombres, y vosotros ni con uno de vuestros dedos las tocáis!... ¡Ay de vosotros, doctores de la Ley, que os habéis apoderado de la llave de la ciencia; y ni entráis vosotros ni dejáis entrar!

Lucas, 11

A primera vista, la ley puede parecer todo lo más alejada que quepa imaginar de la poesía o de la maravilla de la ciencia. Quizá exista belleza poética en las ideas abstractas de justicia o equidad, pero dudo que conmueva a muchos juristas. En cualquier caso, no es de eso de lo que trata este capítulo. Consideraré un ejemplo del papel de la ciencia en la ley, un aspecto distinto de la ciencia y su importancia en la sociedad, un sentido en el que la comprensión científica puede convertirse en un ingrediente valioso de la buena ciudadanía. En los tribunales de justicia, a los jurados se les pide cada vez más que evalúen pruebas que los propios letrados pueden no llegar a comprender plenamente. Las pruebas emanadas del destejimiento del ADN (lo que podríamos imaginar como códigos de barras en la sangre) son el ejemplo más destacado, y el tema principal de este capítulo. Pero más importante aún que los hechos sobre el ADN que puedan aportar los científicos es la teoría subyacente de la probabilidad y la estadística; son los métodos científicos para hacer inferencias lo que debe aplicarse. Estos temas van más allá del reducido campo de las pruebas de ADN.

Sé de buena fuente que en Estados Unidos no es raro que los abogados de la defensa veten a miembros del jurado sobre la base de que han tenido educación científica. ¿Qué puede significar esto? No voy a poner en duda el derecho de los abogados defensores a no admitir la composición de determinados jurados. Un miembro del jurado puede tener prejuicios contra la raza o la clase social del acusado. Resulta obviamente indeseable que un homófobo recalcitrante pueda juzgar un caso de vio-

lencia antihomosexual. Por eso en algunos lugares se permite a los abogados defensores interpelar a los jurados potenciales y tacharlos de la lista. Los abogados estadounidenses pueden ser muy descarados en cuanto a sus criterios para la selección de jurados. Un colega me contó que, en una ocasión en que fue requerido como candidato a jurado en un litigio por injurias, el abogado preguntó: «¿Alguien de los aquí presentes tendría algún problema en adjudicar una cantidad *sustancial* de dinero a mi cliente, quizá del orden de millones?».

Un abogado puede también descalificar a un jurado sin ninguna justificación. Aunque esto no tiene por qué ser injusto, la única vez que fui testigo de algo así el abogado erró el tiro. Me habían incluido en un grupo de 24 individuos del que se iba a seleccionar un jurado de 12. Yo ya había participado en dos jurados con algunos miembros de este grupo, y conocía sus flaquezas individuales. Una persona en particular era carne de acusación; sabía que adoptaría la misma línea dura casi con independencia del caso que se juzgase. El abogado de la defensa lo descartó casi de inmediato. La siguiente candidata, una mujer corpulenta de mediana edad, era todo lo contrario: una sentimental garantizada, un regalo para la defensa. Pero, quizá porque su apariencia sugería otra cosa, el abogado defensor ejerció su derecho de veto contra ella. Nunca he olvidado la expresión de orgullo herido en la cara de la mujer cuando, con un movimiento seco de la mano, el docto letrado (que no sospechaba que aquella podría haber sido su arma secreta) la suprimió de la lista del jurado.

Pero volvamos al hecho sorprendente. Se sabe de abogados estadounidenses que alegan la siguiente razón para rechazar jurados potenciales: el presunto jurado es versado en ciencia, o posee algún conocimiento de genética o de teoría de la probabilidad. ¿Dónde está el problema? ¿Acaso se sabe que los genetistas albergan prejuicios arraigados contra determinados sectores de la sociedad? ¿Son los matemáticos especialmente propensos a la política de «azotadlos..., ahorcadlos..., es el único lenguaje que entienden..., ley y orden»? Desde luego que no. Nadie ha aducido nunca algo así.

Las objeciones de los abogados tienen una base mucho más innoble. Existe un nuevo tipo de pruebas que llegan cada vez con más frecuencia a los tribunales de justicia: pruebas basadas en el ADN, y son pruebas de lo más potente. Si el acusado es inocente, la prueba del

ADN bien puede proporcionar una evidencia abrumadora para establecer su inocencia. Y al revés, si es culpable, entonces es más que probable que la prueba del ADN establezca su culpabilidad allí donde ninguna otra prueba puede hacerlo. Las pruebas de ADN son, en el mejor de los casos, bastante difíciles de comprender. Hay aspectos controvertidos de las mismas que son incluso más difíciles. En estas circunstancias, cabría esperar que un abogado honesto que desea que se haga justicia diera la bienvenida a jurados capaces de comprender los razonamientos. ¿No sería algo obviamente bueno tener en la sala del jurado al menos una o dos personas que puedan enmendar la ignorancia de sus desconcertados colegas? ¿Qué tipo de abogado puede preferir un jurado incapaz de seguir la argumentación de la acusación o la defensa? La respuesta es: cualquier abogado más interesado en ganar que en que se haga justicia. En otras palabras, un abogado. Y parece ser un hecho que los abogados, tanto de la acusación como de la defensa, rechazan con frecuencia a miembros concretos del jurado precisamente porque son versados en ciencia.

Los tribunales de justicia siempre han tenido la necesidad de establecer la identidad individual. ¿Era Richard Dawkins el individuo al que se vio huyendo precipitadamente de la escena del crimen? ¿Es su sombrero el que se encontraba en la escena del crimen? ¿Son las huellas digitales que hay en el arma las suyas? Una respuesta afirmativa a una de estas preguntas no prueba por sí sola la culpabilidad del sujeto, pero es ciertamente un factor importante que debe tenerse en cuenta. La mayoría de nosotros, incluidos la mayoría de jurados y abogados, posee un sentido intuitivo de que hay algo especialmente fiable en las pruebas de testigos oculares. En esto estamos casi con seguridad equivocados, pero el error es perdonable. Incluso puede que sea algo internalizado por milenios de historia evolutiva en la que las pruebas de testigos presenciales eran las más seguras. Si yo veo un hombre con un sombrero de lana roja trepando por una tubería de desagüe, después costará mucho persuadirme de que en realidad llevaba una boina azul. Nuestros prejuicios intuitivos hacen que las pruebas de testigos presenciales superen a las otras categorías. Pero numerosos estudios han demostrado que los testigos oculares, por sinceros y bienintencionados que sean, recuerdan mal a veces incluso detalles conspicuos como el color de la vestimenta o el número de asaltantes presentes.

Cuando la identificación individual es importante, como cuando se pide a una mujer violada que identifique a su atacante, los tribunales realizan una prueba estadística rudimentaria conocida como rueda de identificación. Se hace que la mujer pase revista a una fila de hombres, uno de los cuales es sospechoso por otros motivos. Los demás son gente de la calle, actores en paro o policías de paisano. Si la mujer señala a uno de estos hombres de paja, su prueba de identificación se rechaza. Pero si señala al hombre del que la policía ya sospechaba, su prueba se toma en serio.

Correcto, especialmente si el número de individuos en la revista de identificación es grande. Todos tenemos el suficiente sentido estadístico para ver por qué es así. La sospecha previa de la policía debe ser susceptible de duda (de otro modo, no habría motivo para la rueda de identificación). Lo que cuenta es la concordancia entre la identificación de la mujer y la evidencia independiente que ofrece la policía. Si la rueda de identificación incluyera sólo dos hombres, la testigo tendría un 50 por ciento de posibilidades de señalar al hombre del que la policía ya sospecha, incluso si eligiera al azar o de forma equivocada. Puesto que la policía también podría equivocarse, esto representa un riesgo de injusticia inaceptablemente alto. Pero si hay 20 hombres en la fila, la mujer sólo tiene una posibilidad entre 20 de elegir, por azar o error, al hombre del que la policía ya sospecha. En este caso es más probable que la coincidencia de su identificación y de la sospecha previa de la policía signifique realmente algo. Se trata de evaluar las posibilidades de que la coincidencia pueda darse por puro azar. La probabilidad de coincidencia sin sentido es aún menor si la revista de identificación incluye 100 hombres, porque una probabilidad de error de 1 sobre 100 es notablemente menor que una probabilidad de error de 1 sobre 20. Cuanto más larga sea la fila, más seguro el eventual fallo condenatorio.

También tenemos un sentido intuitivo de que los hombres elegidos para la rueda de identificación no deben tener una apariencia demasiado distinta de la del sospechoso. Si la mujer le dijo a la policía que buscara un hombre con barba y la policía ha arrestado a un sospechoso barbudo, es evidentemente injusto ponerle en una fila con 19 hombres recién afeitados. Daría igual que estuviera solo en la rueda de identificación. Aun cuando la mujer no hubiera declarado nada acerca del as

pecto de su atacante, si la policía ha arrestado a un cabeza rapada con chaqueta de cuero sería un error ponerle en una fila al lado de contables trajeados y con paraguas plegados. En países multirraciales, estas consideraciones tienen aún más importancia. Todo el mundo comprende que no se debe colocar a un sospechoso negro en una fila de hombres blancos, o al revés.

Cuando pensamos en cómo identificamos a las personas, la cara es lo primero que acude a la mente. Somos particularmente eficientes a la hora de distinguir caras. Como veremos en otra parte, incluso parece que la evolución haya reservado una parte específica del cerebro para este propósito, porque determinadas lesiones cerebrales incapacitan nuestra facultad de reconocer caras mientras que dejan intacto el resto de la visión. En cualquier caso, las caras son buenas señas de identidad porque son muy variables. Con la excepción bien conocida de los gemelos idénticos, uno raramente se encuentra con dos personas cuyas caras puedan confundirse. Sin embargo, esto no es algo totalmente inusitado, y se puede maquillar a un actor para que se parezca mucho a alguna otra persona. Los dictadores suelen emplear dobles para que actúen por ellos cuando están muy atareados, o para que atraigan el fuego de los asesinos. Se ha sugerido que una razón por la que los líderes carismáticos suelen lucir bigote (Hitler, Stalin, Franco, Saddam Hussein, Oswald Mosley') es para facilitar que un doble pueda asumir su personalidad. La cabeza afeitada de Mussolini servía quizá para el mismo propósito.

Aparte de los gemelos idénticos, los parientes cercanos ordinarios se parecen a veces lo suficiente para engañar a las personas que no los conocen bien. (Por desgracia, la anécdota de que el doctor Spooner, cuando era director de mi colegio universitario, detuvo una vez a un estudiante y le dijo: «Nunca puedo recordarlo, ¿es usted o su hermano el que murió en la guerra?», probablemente es falsa, como la mayoría de supuestos trastocamientos lógicos atribuidos a él.) El parecido entre hermanos y hermanas, padres e hijos, abuelos y nietos, sirve para recordarnos el enorme fondo de variedad facial en la población general de personas no emparentadas.

1. Político inglés (1896-1980), diputado en distintos grupos parlamentarios y líder de los fascistas británicos. (*N. del T.*)

Pero las caras son sólo un caso especial. Estamos inundados de idiosincrasias que, con suficiente adiestramiento, pueden utilizarse para identificar individuos. Tuve un compañero de escuela que afirmaba (y mis comprobaciones al azar lo confirmaron) que podía reconocer a cualquiera de los hospedados en la residencia donde vivíamos (unos 80) por el sonido de sus pisadas. También tuve una amiga suiza que afirmaba que cuando entraba en una estancia podía decir, por el olfato, quiénes de entre sus conocidos habían estado allí recientemente. No es que sus colegas no se lavaran, sino que ella era insólitamente sensible. Que ello es posible en principio lo confirma el hecho de que los perros policía pueden distinguir entre dos personas cualesquiera sólo por el olfato, con la excepción, de nuevo, de los gemelos idénticos. Por lo que sé, la policía no ha adoptado esta técnica, pero apuesto a que se podría entrenar a sabuesos para que siguieran la pista de un niño raptado tras dejarles oler a su hermano. Incluso se podría buscar alguna forma de utilizar un jurado de sabuesos para decidir en casos de paternidad.

Las voces son tan idiosincrásicas como las caras, y varios equipos de investigación están trabajando en sistemas de reconocimiento de la voz por ordenador para autenticar la identidad. Sería una gran bendición que, en el futuro, pudiéramos sustituir las llaves de la puerta principal por un ordenador operado por la voz que obedeciera nuestra orden especial de «¡Sésamo, ábrete!». La escritura manual es lo bastante individual para que la firma escrita pueda usarse como garantía de identidad en cheques bancarios y documentos legales importantes. En realidad, las firmas no son especialmente seguras porque se falsifican con excesiva facilidad, pero sigue siendo impresionante lo reconocible que puede ser la caligrafía. Un recién llegado prometedor a la lista de «rúbricas» individuales es el iris del ojo. Al menos un banco está experimentando con máquinas que examinan automáticamente el iris como método para verificar la identidad. El cliente se sitúa ante una cámara que fotografía el ojo y digitaliza la imagen en lo que un periódico describió como un «código de barras humano de 256 bytes». Pero ninguno de estos métodos para verificar la identidad humana se acerca siquiera al potencial de la prueba del ADN, convenientemente aplicada.

No es sorprendente que los perros policía puedan oler la diferencia entre dos personas cualesquiera, excepto los gemelos idénticos. Nues-

tro sudor contiene un complicado cóctel de proteínas, y los detalles precisos de todas ellas están minuciosamente especificados por las instrucciones de ADN codificadas que son nuestros genes. A diferencia de la caligrafía y de las caras, que varían de forma continua y pasan gradual y paulatinamente de una a otra, los genes son codificaciones digitales, muy parecidos a los de los ordenadores. De nuevo con la excepción de los gemelos idénticos, diferimos genéticamente de todas las demás personas de manera discreta: un número exacto de maneras que podrían incluso contarse si tuviéramos paciencia para ello. El ADN de una de mis células es idéntico al ADN de todas las demás células de mi cuerpo (con la salvedad de una minúscula minoría de errores, y exceptuando los glóbulos rojos de la sangre, que han perdido su ADN, y las células reproductoras, que contienen una mitad aleatoria de mis genes). Mi ADN difiere del de las células del lector, no de alguna manera vaga, impresionista, sino en un número preciso de lugares que salpican los miles de millones de letras de texto genético que compartimos.

Es casi imposible exagerar la importancia de la revolución digital en genética molecular. Antes de la memorable notificación de Watson y Crick, en 1953, de la estructura del ADN, todavía se podía estar de acuerdo con las palabras finales del autorizado libro de Charles Singer *A Short History of Biology [Breve historia de la biología]*, publicado en 1931:

... a pesar de las interpretaciones en sentido contrario, la teoría del gen no es una teoría «mecanicista». El gen no es más comprensible como entidad química o física que la célula o, ya puestos, el propio organismo. Más aún, aunque la teoría habla en términos de genes como la teoría atómica habla en términos de átomos, debe recordarse que existe una distinción fundamental entre ambas. Los átomos existen de manera independiente, y pueden examinarse sus propiedades como tales. Incluso pueden aislarse. Aunque no podemos verlos, podemos tratar con ellos en condiciones y combinaciones diversas. Podemos abordarlos individualmente. No ocurre lo mismo con el gen. Existe sólo como parte del cromosoma, y el cromosoma sólo como parte de la célula. Si pido un cromosoma vivo, es decir, el único tipo efectivo de cromosoma, nadie puede proporcionármelo fuera de su entorno vivo, del mismo modo que nadie

puede proporcionarme un brazo o una pierna vivos. La doctrina de la relatividad de funciones es tan cierta para el gen como lo es para cualesquiera órganos del cuerpo, que existen y funcionan únicamente en relación a otros órganos. Así, la última de las teorías biológicas nos deja donde empezamos por vez primera, en presencia de un poder denominado vida o psique que no sólo es de su propia clase, sino que es único en todas y cada una de sus manifestaciones.

Esto es un espectacular, profundo y tremendo error. Y realmente importante. Siguiendo a Watson y Crick y la revolución que desataron, un gen *puede* aislarse. Puede purificarse, embotellarse, cristalizarse, leerse como información codificada digitalmente, imprimirse en una página, introducirse en un ordenador, descifrarse de nuevo en un tubo de ensayo y reinsertarse en un organismo, donde funciona exactamente como lo hacía antes. Cuando se haya completado (probablemente hacia el año 2003) el proyecto Genoma Humano, que pretende determinar la secuencia completa del ADN de un ser humano, el genoma completo cabrá holgadamente en dos discos compactos normales, y dejará espacio suficiente para un manual de embriología molecular. Después estos dos discos podrán enviarse al espacio exterior, y la raza humana podrá extinguirse tranquilamente, sabiendo que hay una probabilidad de que, en algún momento del futuro y en algún lugar distante, una civilización lo bastante avanzada será capaz de reconstituir un ser humano. Mientras tanto, de nuevo en la Tierra, la identificación por el **ADN**, en virtud de su naturaleza profunda y fundamentalmente digital (lo que hace que las diferencias entre individuos y entre especies se puedan contar de forma precisa y no sólo medir de forma vaga e impresionista), es un método potencialmente muy poderoso.

Afirmo confiado el carácter único del ADN de cada individuo, pero incluso esto es sólo un juicio estadístico. Teóricamente, la lotería sexual podría sacar dos veces la misma secuencia genética. Mañana podría nacer un «gemelo idéntico» de Isaac Newton. Pero el número de personas que tendrían que nacer para que este suceso tuviera una probabilidad apreciable debería ser mayor que el número de átomos que contiene el universo.

A diferencia de nuestra cara, nuestra voz o nuestra escritura, el ADN de la mayoría de nuestras células sigue siendo el mismo desde la

infancia hasta la vejez, y no puede alterarse por aprendizaje o cirugía estética. Nuestro texto de ADN tiene un número de letras tan inmensamente grande que podemos cuantificar con precisión el número esperable de letras compartidas, pongamos por caso, por hermanos o primos hermanos en relación a primos segundos o parejas al azar escogidas de entre toda la población. Esto lo hace útil no sólo para etiquetar unívocamente a los individuos y comparar sus fichas con las obtenidas de trazas de sangre o semen, sino también para establecer la paternidad y otras relaciones genéticas. La ley inglesa permite a las personas inmigrar si pueden probar que sus padres ya son ciudadanos británicos. Varios niños procedentes del subcontinente indio han sido arrestados por funcionarios de inmigración escépticos. Antes del advenimiento de la prueba del ADN solía ser imposible para estos infortunados demostrar su ascendencia. Ahora es fácil. Basta con tomar una muestra de sangre de los padres putativos y comparar un conjunto de genes determinado con el conjunto correspondiente del niño. El veredicto es claro e inequívoco, sin ninguna de las dudas o confusiones que hacen necesarios los juicios cualitativos. En la actualidad, bastantes jóvenes británicos deben su ciudadanía a la tecnología del ADN.

Un método similar se utilizó para identificar unos esqueletos descubiertos en Yekaterinburg, de los que se sospechaba que pertenecían a la ejecutada familia real rusa. El príncipe Felipe, duque de Edimburgo, de quien se conoce su parentesco exacto con los Romanov, cedió graciosamente su sangre, a partir de la cual fue posible establecer que los esqueletos eran realmente los de la familia del zar. En un caso más macabro, se comprobó que un esqueleto exhumado en Sudamérica era el del doctor Josef Mengele, el criminal de guerra nazi conocido como «el ángel de la muerte». Una muestra de ADN obtenida de los huesos se comparó con el de la sangre del hijo todavía vivo de Mengele, lo que permitió certificar la identidad del esqueleto. Más recientemente, un cadáver exhumado en Berlín e identificado por el mismo método ha resultado ser el de Martín Bormann, el lugarteniente de Hitler cuya desaparición había propiciado una infinidad de leyendas y rumores, y más de 6000 «avistamientos» en todo el mundo.

La «huella» de nuestro ADN, siendo digital, es incluso más característica de cada individuo que sus huellas dactilares. De hecho, como ocurre con las huellas dactilares propiamente dichas, una persona suele

dejar muestras de su ADN tras haber abandonado la escena. Puede extraerse ADN de una mancha de sangre en una alfombra, del semen dejado en una víctima de violación, de una costra de moco seco en un pañuelo, del sudor o de pelos caídos. El ADN de la muestra puede compararse entonces con el de la sangre extraída de un sospechoso. De esta forma es posible establecer, con casi cualquier grado de certeza que se desee, si la muestra pertenece o no a cierta persona.

¿Cuáles son, entonces, los obstáculos? ¿Por qué son controvertidas las pruebas de ADN? ¿Qué es lo que tiene este tipo importante de evidencia que hace que los abogados embauquen a los jurados para que la malinterpreten o ignoren? ¿Por qué algunos tribunales se han visto obligados al desesperante extremo de desechar esta evidencia?

Hay tres problemas potenciales principales, uno sencillo, otro complicado y un tercero ridículo. Trataré más adelante el problema ridículo y las dificultades más refinadas, pero en primer lugar, como ocurre con cualquier tipo de prueba, está la posibilidad sencilla (y muy importante) del error humano. Más bien posibilidades, porque hay muchas oportunidades para la equivocación y hasta el sabotaje. Un tubo de sangre puede etiquetarse mal, por error o con la intención deliberada de incriminar a alguien. Una muestra procedente de la escena del crimen puede contaminarse por el sudor de un técnico de laboratorio o de un oficial de policía. El peligro de contaminación es especialmente grande cuando se utiliza una ingeniosa técnica de amplificación denominada PCR (reacción en cadena de la polimerasa).

Es fácil comprender por qué puede ser deseable una amplificación. Una minúscula mancha de sudor en la culata de una pistola contiene sólo trazas de ADN. Por sensible que sea el análisis, se necesita una cantidad mínima de material para realizarlo. La respuesta, espectacularmente exitosa, es la técnica PCR, inventada en 1983 por el bioquímico norteamericano Kary B. Mullis. A partir del poco ADN disponible se producen millones de copias, multiplicando repetidamente las secuencias codificadas presentes. Pero, como ocurre siempre que se amplifica algo, los errores se amplifican junto con la señal auténtica. La contaminación por fragmentos sueltos de ADN procedentes del sudor de un técnico se amplifica de forma tan efectiva como la muestra procedente de la escena del crimen, lo que introduce una posibilidad obvia de injusticia.

Pero el error humano no es privativo de la prueba del ADN. Cualquier clase de evidencia es vulnerable a las chapuzas y el sabotaje, por lo que debe manejarse con un cuidado escrupuloso. Los archivos de un fichero convencional de huellas pueden estar mal etiquetados. El arma del crimen puede haber sido tocada por personas inocentes aparte del asesino, y es necesario tomar sus huellas, junto con las del sospechoso, para evitar errores. Los tribunales de justicia saben ya de la necesidad de tomar todas las precauciones posibles contra los errores, a pesar de lo cual siguen produciéndose, a veces con consecuencias trágicas. Las pruebas de ADN no son inmunes a las chapuzas, pero tampoco son particularmente vulnerables a ellas, excepto por el hecho de que la PCR puede amplificar el error. Si todas las pruebas de ADN tuvieran que desestimarse por la posibilidad de errores ocasionales, habría que desestimar también la mayoría de las otras clases de evidencia. Es de suponer que pueden desarrollarse códigos deontológicos y precauciones rigurosas para prevenir los errores humanos en la presentación de todo tipo de pruebas legales.

Me llevará más tiempo explicar las dificultades más refinadas que confunden las pruebas de ADN. También ellas tienen precedentes en las clases de evidencia convencionales, aunque con frecuencia este punto parece no comprenderse en los tribunales de justicia.

En lo que concierne a cualquier tipo de identificación, hay dos tipos de error que se corresponden con los dos tipos de error de cualquier evidencia estadística. En otro capítulo los llamaremos errores de tipo 1 y de tipo 2, pero es más fácil pensar en ellos como falso positivo y falso negativo. Un sospechoso culpable puede librarse por no ser reconocido (falso negativo). Por otra parte, un sospechoso inocente puede ser condenado porque tiene la mala suerte de parecerse al verdadero culpable (falso positivo, equivocación que la mayoría de gente considera más peligrosa). En el caso de una identificación ordinaria por testigos presenciales, un espectador inocente que resultara tener cierto parecido con el verdadero criminal podría, en consecuencia, ser arrestado: falso positivo. Las ruedas de identificación están concebidas para hacer que esto sea poco probable. La probabilidad de un error judicial es inversamente proporcional al número de personas presentes en la rueda de identificación. El peligro puede incrementarse como ya hemos mencionado (que la fila esté indebidamente repleta de hombres recién afeitados).

En el caso de la prueba del ADN, el peligro de un falso positivo es, teóricamente, muy bajo. Tenemos una muestra de sangre de un sospechoso, y una muestra de la escena del crimen. Si pudiera transcribirse la secuencia de genes entera en ambas muestras, las posibilidades de error son de una entre billones. Aparte de los gemelos idénticos, la probabilidad de que las secuencias de ADN de dos seres humanos cualesquiera coincidan es, a todos los efectos, nula. Pero, por desgracia, no es factible descifrar la secuencia de genes completa de un ser humano. Incluso después de que se haya completado el proyecto Genoma Humano, pretender repetir algo así en la solución de cada crimen no es realista. En la práctica, los detectives forenses se concentran en pequeñas secciones del genoma, preferiblemente aquellas de las que se sabe que varían mucho en la población. Nuestro temor ahora debe ser que, aunque se pueda descartar con seguridad la identificación errónea a la escala del genoma entero, podría existir algún peligro de que dos individuos fueran idénticos en lo que respecta a la pequeña porción de ADN analizable.

Debería ser posible medir la probabilidad de que ocurra esto para cualquier sección particular del genoma; entonces podríamos decidir si el riesgo de error es aceptable. Cuanto mayor fuera la sección de ADN, menor sería la probabilidad de error, igual que, en una rueda de identificación, cuanto más larga es la fila más segura es la sentencia. La diferencia es que, para poder competir con la prueba del ADN, una rueda de identificación debería estar formada no por veinte personas, sino por miles, millones y hasta miles de millones. Aparte de esta diferencia cuantitativa, la analogía con la rueda de identificación continúa. Veremos que existe un equivalente de nuestra hipotética fila de hombres recién afeitados junto a un único sospechoso barbudo en la prueba del ADN. Pero primero conozcamos algo más sobre este método de identificación.

Evidentemente, tomamos muestras de la parte equivalente del genoma del sospechoso y del espécimen. Estas partes del genoma se eligen por su tendencia a variar ampliamente en la población. Un darwinista advertiría que las partes invariantes suelen ser las que desempeñan un papel importante en la supervivencia del organismo. Es probable que cualesquiera variaciones sustanciales en estos genes hayan sido eliminadas de la población por la muerte de sus poseedores:

selección natural darwiniana. Pero otras partes del genoma son muy variables, quizá porque no son importantes para la supervivencia. Esto no lo explica todo, porque en realidad algunos genes útiles son muy variables. Las razones de ello son controvertidas. Divagaremos un poco, pero... ¿qué sería de esta vida si, llenos como estamos de estrés, no tuviéramos la libertad de divagar?

La escuela de pensamiento «neutralista», asociada al eminente genetista japonés Motoo Kimura, sostiene que los genes útiles pueden existir en una variedad de formas, y que las distintas variantes son *igualmente* eficientes. Si imaginamos que los genes escriben sus recetas en palabras, puede pensarse en las formas alternativas de un gen como las mismas palabras escritas con distintos tipos de letra: el significado es el mismo, y el producto de la receta será idéntico. Los cambios o «mutaciones» que no alteran la función de un gen no son «vistos» por la selección natural. En rigor, no son mutaciones en absoluto, porque no suponen ninguna diferencia para la vida del animal, pero son potencialmente útiles desde el punto de vista del científico forense. La población acaba teniendo una gran variabilidad en dicho *locus* (posición en el cromosoma), y esta variabilidad puede servir, en principio, para la identificación por el ADN.

La otra teoría de la variación, opuesta a la teoría neutralista de Kimura, sostiene que las distintas versiones de los genes tienen comportamientos de hecho diferentes, y que por alguna razón especial la selección natural las preserva en la población. Por ejemplo, podría haber dos formas alternativas de una proteína sanguínea, *a* y *b*, susceptibles a dos enfermedades infecciosas llamadas *alfluen.a* y *betacosis*, respectivamente, y cada una de ellas es inmune a la otra enfermedad. Típicamente, una enfermedad infecciosa requiere una densidad crítica de víctimas susceptibles en una población para que se ponga en marcha una epidemia. En una población dominada por el tipo *a* hay epidemias frecuentes de alfluenza pero no de betacosis. La selección natural favorece entonces a los individuos *b*, que son inmunes a la alfluenza. Tanto es así que, al cabo de un tiempo, se hacen dominantes en la población. Ahora la situación se invierte. Hay epidemias de betacosis, pero no de alfluenza. Los individuos *a* son ahora los favorecidos por la selección natural, porque son inmunes a la betacosis. La población puede oscilar entre la dominancia de *a* y la de *b*, o bien puede terminar con una mez-

cía intermedia, un «equilibrio». En cualquier caso, observaremos mucha variación en el locus genético considerado, y esto es una buena noticia para los partidarios de las pruebas de ADN. Este fenómeno se conoce como «selección dependiente de la frecuencia», y es una de las razones sugeridas para explicar los elevados niveles de variación genética en las poblaciones, aunque no es la única.

Para nuestros fines forenses, lo único que importa es que el genoma contiene sectores variables. Cualquiera que sea el veredicto en la controversia sobre si los pedacitos útiles del genoma son o no variables, existen en cualquier caso muchas otras regiones del genoma que nunca se leen y, por lo tanto, nunca se traducen en sus equivalentes proteicos. En realidad, una proporción sorprendentemente grande de nuestros genes parece no hacer nada en absoluto. Esto quiere decir que tienen libertad de variación, lo que los convierte en un material excelente para la prueba del ADN.

Como para confirmar el hecho de que una gran parte del ADN no hace nada útil, la longitud misma del ADN de los diferentes tipos de organismos es muy variable. Puesto que la información contenida en el ADN es digital, podemos medirla en las mismas unidades con que medimos la información en los ordenadores. Un bit es la cantidad de información necesaria para especificar una decisión de *sí/no*: un 1 o un 0, un *verdadero* o un *falso*. El ordenador con el que escribo tiene 256 megabits (32 megabytes) de memoria básica. (El primer ordenador que tuve era una caja mucho mayor, pero tenía una capacidad de memoria cinco mil veces menor.) La unidad fundamental equivalente en el ADN es la base nucleotídica. Puesto que hay 4 bases posibles, el contenido de información de cada base es de 2 bits. La bacteria intestinal común, *Escherichia coli*, posee un genoma de 4 megabases, u 8 megabits. El tritón crestado (*Triturus cristatus*) posee 40.000 megabits. La diferencia entre el tritón crestado y la bacteria, de 5000 veces, es aproximadamente la misma que hay entre mi ordenador actual y el primero que tuve. Los seres humanos poseemos 3000 megabases o 6000 megabits. Esto es 750 veces más que la bacteria (para satisfacción de nuestra vanidad), pero ¿qué podemos decir del tritón, que nos supera en seis veces? Nos gustaría pensar que el tamaño del genoma no es estrictamente proporcional a su función: presumiblemente, una gran parte de este ADN de tritón no hace nada. Esto es cierto, desde luego. También

lo es para la mayor parte de nuestro ADN. Sabemos, por otros indicios, que de las 3000 megabases del genoma humano sólo alrededor de un dos por ciento sirve para codificar proteínas. El resto suele conocerse como ADN basura. Presumiblemente, el tritón crestado tiene un porcentaje aún mayor de ADN basura. Otros tritones no tienen.

El excedente de ADN pertenece a varias categorías. Una parte del mismo parece información genética real, y probablemente se trata de genes difuntos o copias anticuadas de genes todavía en uso. Estos pseudogenes tendrían sentido si se leyeran y tradujeran. Pero esto no ocurre. Los discos duros de los ordenadores suelen contener basura comparable: viejas copias de trabajos en marcha, espacio de bloc de notas utilizado por el ordenador para operaciones provisionales, etcétera. Los usuarios no vemos esta basura, porque nuestros ordenadores sólo nos muestran aquellas partes del disco de las cuales necesitamos saber algo. Pero si tuviéramos acceso al disco y pudiéramos leer la información real, byte a byte, contenida en él, veríamos esta basura, y gran parte de ésta tendría cierto sentido. Probablemente hay docenas de fragmentos incoherentes de este mismo capítulo que salpican ahora mismo mi disco duro, aunque sólo exista una copia «oficial», según me indica el ordenador (además de una prudente copia de seguridad).

Además del ADN basura que *podría* leerse pero que no se lee, hay gran cantidad de ADN basura que no sólo no es leído, sino que si lo fuera no tendría ningún sentido. Existen tramos enormes de disparates repetidos, quizá repeticiones de una base, o alternancias de dos bases, o repeticiones de una pauta más complicada. A diferencia de la otra clase de ADN basura, no podemos explicar estas «repeticiones en doblete» como copias anticuadas de genes útiles. Este ADN repetitivo nunca ha sido descodificado, y presumiblemente nunca ha sido de ninguna utilidad. (De ninguna utilidad para la supervivencia del animal. Desde el punto de vista del gen egoísta, como expliqué en otro libro, podríamos decir que cualquier tipo de ADN basura es «útil» para sí mismo si consigue sobrevivir y producir más copias de sí mismo. Esta sugerencia ha venido a identificarse con el reclamo «ADN egoísta», aunque esta expresión es poco afortunada porque, en mi sentido original, el ADN funcional también es egoísta. Por esta razón, hay quienes prefieren llamarlo «ADN ultraegoísta».)

En cualquier caso, por la razón que sea, el ADN basura está ahí, y en cantidades prodigiosas. Puesto que no se utiliza, es libre de variar. Los genes útiles, como hemos visto, se ven muy limitados en su libertad para cambiar. La mayoría de mutaciones de un gen reducen su eficacia, el animal muere y el cambio no se transmite a la descendencia. De esto trata precisamente la selección natural darwiniana. Pero las mutaciones en el ADN basura (en su mayor parte cambios en el número de repeticiones en una región dada) no son advertidas por la selección natural. Así, cuando examinamos la población encontramos que la mayor parte de la variación que es útil para las pruebas de ADN se encuentra en las regiones basura. Como veremos ahora, las repeticiones en doblete son particularmente útiles porque varían con respecto al número de repeticiones, una característica simple que es fácil de medir.

Si no fuera por eso, el genetista forense tendría que examinar la secuencia exacta de bases en la región de muestra. Algo que puede hacerse, pero la secuenciación del ADN requiere mucho tiempo. Las repeticiones en doblete nos proporcionan ingeniosos atajos, como descubrió Alec Jeffreys, de la Universidad de Leicester, considerado con toda justicia el padre del método de identificación por el ADN (y que ahora es Sir Alec). Cada persona tiene un número diferente de repeticiones en doblete en lugares particulares. Yo podría poseer 147 repeticiones de un fragmento particular sin sentido, allí donde el lector tiene 84 repeticiones del mismo fragmento en la región correspondiente de su genoma. En otra región, yo puedo tener 24 repeticiones de un fragmento concreto sin sentido frente a 38 repeticiones del lector. Cada uno de nosotros posee una «huella dactilar» característica consistente en un conjunto de números, correspondientes al número de veces que un determinado fragmento sin sentido se repite en nuestro genoma.

Obtenemos nuestras repeticiones en doblete de nuestros padres. Cada uno de nosotros posee 46 cromosomas, 23 procedentes de nuestro padre y otros 23 cromosomas homólogos, o correspondientes, procedentes de nuestra madre. Estos cromosomas se heredan completos, con sus repeticiones en doblete. El padre del lector obtuvo sus 46 cromosomas de los abuelos paternos, pero no los transmitió al lector en su totalidad. Cada uno de sus cromosomas paternos se alineó con su cromosoma materno correspondiente y se intercambiaron pequeños fragmentos antes de que un cromosoma compuesto pasara al espermato-

zoide que engendró al lector. Cada espermatozoide y cada óvulo contiene una mezcla única de genes maternos y paternos recombinados. El proceso de mezcla afecta tanto a las secciones con repeticiones en doblete como a las secciones cromosómicas con sentido. Así pues, nuestros números característicos de repeticiones en doblete se heredan de modo muy parecido a como lo hacen el color de los ojos o el ensortijamiento del cabello. Con la diferencia de que, mientras el color de los ojos resulta de una especie de veredicto conjunto de nuestros genes paternos y maternos, nuestros números de repeticiones en doblete son propiedades de los cromosomas mismos y, por lo tanto, pueden medirse por separado en los cromosomas paternos y maternos. En cualquier región concreta de repetición en doblete, cada uno de nosotros tiene dos lecturas: un número de repeticiones del cromosoma paterno y un número de repeticiones del cromosoma materno. De vez en cuando, los cromosomas mutan (experimentan un cambio aleatorio) en su número de repeticiones en doblete, o bien una región de dobletes determinada puede dividirse por entrecruzamiento cromosómico. Por esa razón se explica que haya variación en el número de repeticiones en doblete dentro de la población. La belleza de esta variable reside en que es fácil de medir. Uno no tiene que complicarse la vida para determinar la secuencia detallada de bases del ADN. Lo que se hace es algo así como pesarlas o, para utilizar otra analogía igualmente válida, se las despliega como las bandas coloreadas de un prisma. A continuación explicaré una manera de hacerlo.

Para empezar, hacen falta algunos preparativos. Se prepara lo que se conoce como una sonda de ADN, que es una secuencia corta de hasta unas 20 bases de longitud tal que encaja perfectamente con la secuencia sin sentido en cuestión. En la actualidad esto no es difícil de conseguir. Existen varios métodos; incluso se puede comprar en la tienda una máquina que produce secuencias cortas de ADN conforme a cualquier especificación, igual que se puede comprar un teclado para perforar cualquier tira de letras en una cinta de papel. Si se suministra a la máquina sintetizadora materias primas radiactivas pueden obtenerse sondas «marcadas». Esto las hace fáciles de localizar más adelante, pues el ADN natural no es radiactivo.

Las sondas radiactivas son una herramienta que hay que tener preparada antes de empezar una prueba de Jeffreys. Otra herramienta

esencial es la «enzima de restricción». Las enzimas de restricción son herramientas químicas que sirven para cortar el ADN, pero sólo por determinados lugares. Por ejemplo, una enzima de restricción puede buscar a todo lo largo de un cromosoma hasta que encuentra la secuencia GAATTC (G, C, T, y A son las cuatro letras del alfabeto del ADN;² todos los genes de todas las especies del planeta consisten en secuencias de estas cuatro letras). Otro enzima de restricción corta el ADN allí donde encuentra la secuencia GCGGCCGC. La caja de herramientas del biólogo molecular dispone de varias enzimas de restricción. Proceden de bacterias que las utilizan con fines defensivos. Cada enzima de restricción tiene una secuencia diana específica, que reconoce y corta.

El truco es elegir una enzima de restricción cuya secuencia diana esté completamente ausente de la repetición en doblete que nos interesa. De este modo, toda la longitud del ADN es cortada en fragmentos cortos que terminan en la secuencia diana específica de la enzima de restricción. Naturalmente, no todos los fragmentos contendrán repeticiones en doblete. Pero algunos sí las contendrán, y la longitud de cada fragmento cortado estará determinada en gran medida por el número de repeticiones en doblete que contenga. Si yo poseo 147 repeticiones de un fragmento particular de ADN sin sentido allí donde el lector sólo tiene 83, mis fragmentos cortados serán en comparación más largos que los del lector.

Podemos medir estas longitudes características mediante una técnica que los biólogos moleculares emplean desde hace ya bastante tiempo. Ésta es la parte comparable a la dispersión de la luz blanca mediante un prisma. El «prisma» típico del ADN es una columna de electroforesis en gel de agarosa o acrilamida, esto es, un largo tubo lleno de gelatina a través del cual se hace pasar una corriente eléctrica. Una solución que contiene los fragmentos cortados de ADN, todos mezclados, se vierte por un extremo del tubo. Los fragmentos de ADN son atraídos eléctricamente por el polo negativo de la columna, al otro extremo del tubo, y se desplazan paulatinamente a través del gel. Pero no todos lo hacen a la misma velocidad. Al igual que la luz de baja fre -

2. Que corresponden, respectivamente, a guanina, citosina, tiamina y adenina, las cuatro bases nitrogenadas de los nucleótidos del ADN. (*N. de! T.*)

cuencia que atraviesa el cristal, los fragmentos pequeños de ADN viajan más deprisa que los grandes. El resultado es que, si se interrumpe la corriente al cabo de un tiempo adecuado, los fragmentos se han repartido por la columna, igual que los colores de Newton se desplegaban porque la luz del extremo azul del espectro se frena más que la del extremo rojo.

Pero hasta aquí no podemos ver los fragmentos. La columna de gelatina parece uniforme en toda su longitud. No hay nada que muestre cómo se distribuyen los fragmentos de ADN de tamaño distinto a lo largo de su longitud, ni nada que muestre qué bandas contienen qué variedad de repetición en doblete. ¿Cómo las hacemos visibles? Aquí entran en escena las sondas radiactivas.

Para hacer visibles los fragmentos se puede utilizar otra técnica ingeniosa, el borrón de Southern, inventada por Edward Southern. (Existen otras dos técnicas conocidas como borrón de Northern, «septentrional», y borrón de Western, «occidental», a pesar de que no existe ningún señor Northern o Western, lo que resulta un tanto desconcertante.) La columna de gelatina se extrae del tubo y se extiende sobre papel secante. El líquido del gel, incluidos los fragmentos de ADN, es absorbido por el papel secante. Éste ha sido previamente rociado con una solución de la sonda radiactiva para la repetición en doblete concreta que nos interesa. Las moléculas de la sonda se alinean a lo largo del papel secante y se emparejan de manera precisa, por las reglas ordinarias del ADN, con sus números opuestos en las repeticiones en doblete. Las moléculas radiactivas sobrantes son lavadas, después de lo cual las únicas moléculas de la sonda radiactiva que quedan en el papel secante son las que están enlazadas con sus números opuestos exactos. A continuación se coloca el papel secante sobre un fragmento de película de rayos X, que es impresionada por la radiactividad. Lo que se ve cuando se revela la película es una serie de bandas oscuras: otro código de barras. La pauta final de barras que leemos en el borrón de Southern es como una huella dactilar de la persona, igual que las líneas de Fraunhofer son la huella dactilar de una estrella o las líneas formantes son la huella dactilar de una vocal. En realidad, el código de barras de la sangre se parece mucho a las líneas de Fraunhofer y las líneas formantes.

Los detalles de las técnicas de identificación por el ADN resultan relativamente complicados, de manera que no iré mucho más allá.

Por ejemplo, una estrategia consiste en bombardear el ADN con muchas sondas, todas a la vez. Lo que se obtiene entonces es un saco con una mezcla de códigos de barras. En casos extremos, las bandas se confunden unas con otras y lo que se obtiene es una gran mancha borrosa con todos los tamaños posibles de fragmento de ADN representados en algún lugar del genoma. Esto no es bueno para fines de identificación. En el otro extremo, los investigadores utilizan sólo una sonda cada vez, buscando un «locus» genético concreto. Esta «dactiloscopia de locus único» produce barras netas y primorosas como líneas de Fraunhofer. Pero sólo una o dos por persona, a pesar de lo cual las posibilidades de confundir a una persona con otra son pequeñas. Esto es así porque las características de las que estamos hablando no son del tipo «ojos pardos frente a ojos azules», en cuyo caso habría muchas personas iguales. Recuérdese que lo que estamos midiendo son longitudes de fragmentos de dobletes repetitivos. El número de longitudes posibles es muy grande, de manera que incluso la identificación de locus único es muy precisa. Pero no lo bastante, por lo que, en la práctica, los forenses que buscan huellas de ADN suelen utilizar media docena de sondas distintas. Ahora la probabilidad de error es realmente baja. Pero todavía tenemos que precisar *cuánto* de baja, porque la vida o la libertad de la gente puede depender de ello.

Para empezar, debemos volver a nuestra distinción entre falsos positivos y falsos negativos. La prueba del ADN puede utilizarse para absolver a un sospechoso inocente, o bien para que señale con el dedo a un culpable. Supóngase que se obtiene semen de la vagina de una víctima de violación. La evidencia circunstancial hace que la policía arreste a un hombre, el sospechoso A. Éste cede una muestra de sangre, que se compara con la muestra de semen, utilizando una única sonda de ADN para investigar un locus de repetición en doblete. Si ambas muestras son distintas, el sospechoso A es exonerado. Ni siquiera necesitamos investigar un segundo locus.

Pero ¿qué ocurre si la sangre del sospechoso A concuerda con la muestra de semen para este locus? Supóngase que ambos comparten el mismo código de barras, que denominaremos modelo *P*. Esto es compatible con que el sujeto sea culpable, pero no lo prueba. Podría ser que compartiera el modelo *P* con el verdadero violador. Hace falta in-

vestigar algunos *loci* más. Si las muestras siguen concordando, ¿cuáles son las posibilidades de que la coincidencia sea fortuita (es decir, que se trate de un falso positivo)? Aquí tenemos que empezar a pensar estadísticamente acerca de la población en general. En teoría, tomando sangre de una muestra de hombres de la población en general tendríamos que poder calcular la probabilidad de que dos hombres cualesquiera fueran idénticos en cada locus implicado. Pero ¿de qué sector de la población extraemos nuestra muestra?

¿Recuerda el lector a nuestro solitario barbudo en la anticuada fila de la rueda de identificación? He aquí el equivalente molecular. Supóngase que, en el mundo en general, sólo un hombre entre un millón posee el modelo *P*. ¿Significa esto que la probabilidad de una condena errónea del sospechoso A es de uno entre un millón? No. El sospechoso A puede pertenecer a un grupo minoritario cuyos antepasados inmigraron desde una determinada parte del mundo. Las poblaciones locales suelen compartir peculiaridades genéticas, por la simple razón de que descienden de los mismos antepasados. De los 2,5 millones de holandeses sudafricanos, o afrikaners, la mayoría desciende de un cargamento de inmigrantes que llegaron de Holanda en 1652. Una muestra de la estrechez de este cuello de botella genético es que alrededor de un millón conserva los apellidos de veinte de estos colonizadores originales. Determinadas enfermedades genéticas son mucho más frecuentes entre los afrikaners que en el conjunto de la población mundial. Se estima que alrededor de 8000 (uno de cada 300) poseen la condición sanguínea denominada porfiria variegata, mucho más rara en el resto del mundo. Parece ser que son los descendientes de una pareja concreta de inmigrantes, Gerrit Jansz y Ariaantje Jacobs, aunque no se sabe cuál de los dos era el portador del gen (dominante) de la condición. (La mujer era una de las ocho chicas procedentes de orfanatos de Rotterdam que fueron embarcadas para proporcionar mujeres a los colonos.) En realidad, dicha condición no se advirtió en absoluto antes de la medicina moderna, porque su síntoma más marcado es una reacción letal a determinados anestésicos (en la actualidad, los hospitales sudafricanos comprueban de manera rutinaria la presencia del gen antes de cualquier anestesia). Otras poblaciones suelen tener frecuencias altas de genes locales concretos, por la misma razón. Si, volviendo a nuestro caso hipotético, el sospechoso A y el verdadero criminal pertenecen

ambos al mismo grupo minoritario, la probabilidad de confusión casual podría ser espectacularmente mayor de la que pensaríamos si basáramos nuestras estimaciones en el conjunto de la población. El caso es que la frecuencia del modelo P en la humanidad en general ya no es importante. Necesitamos conocer la frecuencia del modelo P en el grupo al que pertenece el sospechoso.

Esto no es nada nuevo. Ya hemos visto el peligro equivalente en una rueda de identificación ordinaria. Si el principal sospechoso es chino, será inaceptable colocarlo en una fila formada en su mayor parte por occidentales. El mismo tipo de razonamiento estadístico sobre la población de base debe aplicarse a la hora de identificar bienes robados. En uno de los tres casos en que fui miembro del jurado en el Tribunal de Oxford, un hombre estaba acusado de robar tres monedas a un numismático rival. Se habían encontrado en posesión del acusado tres monedas que coincidían con las perdidas. El asesor legal de la acusación fue elocuente:

Señoras y señores del jurado, ¿realmente se espera de nosotros que creamos que tres monedas, exactamente del mismo tipo que las tres monedas que faltan, se hallaban presentes por casualidad en la casa de un coleccionista rival? Les digo que una tal coincidencia es demasiado difícil de tragar.

A los miembros del jurado no les está permitido hacer preguntas. Éste era el deber del asesor legal de la defensa y él, aunque sin duda docto en leyes e igualmente elocuente, no tenía la menor idea (al igual que el fiscal) de teoría de la probabilidad. Me gustaría que hubiera dicho algo parecido a esto:

Señoría, no *sabemos* si esta coincidencia es demasiado difícil de tragar, porque mi docto amigo no nos ha presentado ninguna evidencia acerca de si estas tres monedas son raras o comunes en la población en general. Si estas monedas son tan raras que sólo uno de cada cien coleccionistas del país posee alguna, la acusación tiene una buena tesis, puesto que el acusado fue cogido con tres de ellas. Por el contrario, si estas monedas son tan comunes como el polvo, no hay suficiente evidencia para condenar. (Para llevar las

cosas al extremo, es más que probable que tres de las monedas que tengo hoy en mi bolsillo, todas ellas de curso legal, coincidan con tres monedas del bolsillo de su señoría.)

Lo que quiero destacar es que a ninguna de las mentes versadas en leyes del tribunal se le ocurrió que era relevante *preguntar* siquiera cuan raras eran estas monedas en el conjunto de la población. Los abogados saben sumar, desde luego (una vez recibí una factura de un abogado cuya última partida era «Tiempo invertido en hacer esta factura»), pero la teoría de la probabilidad es otro asunto.

Supongo que las monedas eran realmente raras. Si no lo hubieran sido, el robo no habría sido un asunto tan grave, y presumiblemente nunca se hubiera producido el procesamiento. Pero se debería haber informado explícitamente al jurado de ello. Recuerdo que la cuestión se planteó en la sala de deliberación, y nos hubiera gustado que nos dejaran volver al tribunal para aclarar este punto. La cuestión equivalente es igualmente relevante en el caso de la evidencia del ADN, y se plantea con cierta frecuencia. Por suerte, y siempre que se examine un número suficiente de *loci* genéticos distintos, las posibilidades de identificación errónea (incluso entre miembros de grupos minoritarios, incluso entre miembros de una misma familia, con la excepción de los gemelos idénticos) pueden reducirse hasta hacerse mucho menores que las de cualquier otro método de identificación, incluyendo la evidencia de testigos oculares.

La pequeñez de la probabilidad residual de error puede ser algo todavía susceptible de discusión. Y así llegamos a la tercera categoría de objeción a la prueba del ADN, la que es pura y simplemente ridícula. Los abogados están acostumbrados a saltar cuando los testimonios expertos parecen discrepar. Si se hace subir al estrado a dos genetistas y se les pide que estimen la probabilidad de identificación errónea con el método del ADN, el primero puede decir que es de una entre 1.000.000, mientras que el segundo puede que diga que es de sólo una entre 100.000. Salto: «¡Aja! ¡Aja! Los expertos no se ponen de acuerdo. Señoras y señores del jurado, ¿qué confianza podemos depositar en un método científico si los propios expertos discrepan en sus estimaciones etí un factor de diez? Es obvio que lo único que cabe hacer es descartar toda* la evidencia, por completo».

Pero, en estos casos, aunque los genetistas puedan sentirse inclinados a conferir distintos pesos a imponderables tales como el efecto del subgrupo racial, cualquier discrepancia entre ellos se reduce a si las posibilidades en contra de una identificación errónea son hipermegaastronómicas o simplemente astronómicas. La probabilidad no puede ser normalmente inferior a una entre mil, y bien puede ser del orden de una entre un billón. Incluso si se toma la estimación más conservadora, las posibilidades en contra de una identificación equivocada son muchísimo mayores que en una rueda de identificación ordinaria. «Señoría, una rueda de identificación de sólo 20 hombres es excesivamente injusta para mi cliente. ¡Pido una fila de al menos un millón de hombres!»

Los estadísticos expertos a quienes se pidiera que estimaran la probabilidad de que una rueda de identificación convencional de 20 hombres pudiera dar un falso positivo también discreparían entre ellos. Algunos darían la respuesta simple, una entre 20. Repreguntados, podrían ponerse de acuerdo en que quizá sea algo mayor, en función de la naturaleza de la variación en la fila en relación a las características del sospechoso (como en el caso de un único hombre barbudo en la fila). Pero la única cosa en la que todos los estadísticos estarían de acuerdo es que las posibilidades de identificación errónea por puro azar son *al menos* una de cada 20. A pesar de lo cual, abogados y jueces se complacen normalmente en seguir con ruedas de identificación ordinarias en las que el sospechoso se encuentra en una fila de sólo 20 hombres.

Después de informar del rechazo de una identificación por el ADN en un caso del Oíd Bailey, el tribunal central de Londres, el periódico *Independent* del 12 de diciembre de 1992 predecía una consiguiente avalancha de recursos. La idea es que todas aquellas personas que en la actualidad se consumen en prisión como consecuencia de su identificación por el ADN podrán ahora apelar, citando el precedente. Pero la avalancha puede ser incluso mayor de lo que el *Independent* imagina porque, si rechazar una evidencia basada en el ADN es realmente un precedente grave, planteará dudas sobre *todos* aquellos casos en los que las posibilidades en contra de una identificación equivocada sean inferiores a una entre mil. Si un testigo dice que «vio» a alguien y lo identificó en una rueda de identificación, abogados y jurado se sienten satisfechos. Pero las posibilidades de una identificación errónea

cuando está implicado el ojo humano son mucho mayores que cuando la identificación se hace mediante la prueba del ADN. Si nos tomamos en serio el precedente, ello debiera significar que todos y cada uno de los criminales convictos del país tendrían un excelente motivo de apelación sobre la base de identificación equivocada. Incluso si un sospechoso fuera visto por docenas de testigos con una pistola humeante en su mano, las posibilidades de injusticia serían superiores a una entre 1.000.000.

Un caso reciente en Estados Unidos que ha tenido mucha publicidad, el de O.J. Simpson, y en el que se confundió sistemáticamente a los miembros del jurado acerca de la evidencia basada en el ADN, se ha hecho asimismo notorio por otro ejemplo de teoría de la probabilidad chapucera. El acusado, del que se sabía que había maltratado a su mujer, estaba enjuiciado por haberla matado finalmente. Uno de los abogados de la defensa, un catedrático de derecho de Harvard, propuso el siguiente argumento: las estadísticas demuestran que, de los hombres que maltratan a su esposa, sólo uno de cada 1000 acaban matándola. La inferencia que se esperaba que hiciera el jurado (en realidad, que *se quería* que hiciera) es que en este juicio por asesinato no deberían tenerse en cuenta los malos tratos del acusado a su mujer. ¿No muestra la evidencia de forma abrumadora que es improbable que un hombre que maltrata a su esposa se convierta en el asesino de su esposa? Falso. El doctor I.J. Good, un profesor de estadística, escribió una carta a la revista científica *Nature* en junio de 1995 para desacreditar la falacia. El argumento del abogado de la defensa pasa por alto el hecho adicional de que matar a la esposa es raro en relación a apalearla a la esposa. Good calculó que, si se toma la minoría de mujeres que han sido a la vez maltratadas por el marido y asesinadas por *alguien*, es más que probable que el asesino sea el marido. Ésta es la manera relevante de calcular la probabilidad porque, en el caso que se discute, la desgraciada esposa había sido asesinada por *alguien*, después de haber sido maltratada por su marido.

No hay duda de que hay abogados, jueces y investigadores que podrían beneficiarse de una mejor comprensión de la teoría de la probabilidad. Sin embargo, en algunos casos uno no puede evitar la sospecha de que en realidad la comprenden de sobras, y que su incompetencia es fingida. No sé si esto es lo que ocurrió en el caso citado. La misma sos-

pecha plantea el doctor Theodore Dalrymple, el acerbo cronista médico del *Spectator* de Londres, en este relato del 7 de enero de 1995, típicamente sardónico, acerca de una ocasión en que se requirió su testimonio de experto en un tribunal que investigaba la causa de un fallecimiento:

... un conocido mío, un hombre rico y triunfador, se había tragado 200 pastillas y una botella de ron. El pesquisidor me preguntó si podía pensarse que las había tomado por accidente. Estaba yo a punto de contestar con un sonoro y confiado «no» cuando el mismo pesquisidor concretó más la pregunta: ¿existía siquiera una posibilidad de una entre un millón de que las hubiera tomado por accidente? «Ejem, bueno, supongo que sí», contesté. El pesquisidor se relajó (y también la familia del hombre), se dio un veredicto inconcluso, la familia fue 750.000 libras más rica y una compañía de seguros más pobre por una suma equivalente, al menos hasta que aumentó mi prima de seguro.

El poder de la prueba del ADN es un aspecto del poder general de la ciencia que inspira temor en algunas personas. Es importante no exacerbar tales miedos afirmando demasiado o intentando ir demasiado deprisa. Permítaseme que termine este capítulo relativamente técnico volviendo a la sociedad y a una decisión importante y difícil que debemos tomar colectivamente. Por lo general, evito discutir sobre un tema de actualidad por miedo a quedar desfasado, o sobre un tema local por miedo a ser provinciano, pero la cuestión de una base de datos de ADN a escala nacional está empezando a preocupar a la mayoría de países en sus distintas variantes, y está destinada a ser más apremiante en el futuro.

En teoría sería posible mantener una base de datos nacional con secuencias de ADN de todo hombre, mujer y niño del país. En ese caso, siempre que una muestra de sangre, semen, saliva, piel o pelo se encontrara en la escena de un crimen, la policía no tendría que localizar a un sospechoso por otros medios antes de comparar su ADN con el de la muestra. Bastaría con realizar una búsqueda por ordenador en la base de datos nacional. La simple sugerencia de ello desencadena alaridos de protesta. Sería una violación de la libertad individual. Es el

extremo delgado de la muñeca. Un paso gigantesco hacia un estado policial. Siempre me ha intrigado un tanto por qué la gente reacciona *automáticamente* de manera tan violenta frente a sugerencias como ésta. Si examino el asunto de manera desapasionada creo que, sopesándolo todo, estoy en contra. Pero no es algo que deba condenarse de entrada sin siquiera considerar los pros y los contras. Hagámoslo pues.

Si se garantiza que la información se utilizará sólo para capturar criminales, es difícil ver por qué nadie que no sea un criminal tendría que poner objeciones. Soy consciente de que muchos activistas en pro de las libertades civiles seguirán objetando por principio. Pero verdaderamente no comprendo esta actitud, a menos que queramos proteger el derecho de los criminales a cometer delitos sin ser descubiertos. Tampoco veo una buena razón contra una base de datos nacional de huellas dactilares convencionales, de las que se toman con un tampón (excepto el inconveniente práctico de que, a diferencia de lo que ocurre con el ADN, es difícil realizar una búsqueda automatizada por ordenador de huellas dactilares convencionales). El crimen es un problema serio que disminuye la calidad de vida de todo el mundo excepto los criminales (o quizá no: presumiblemente, nada impide que la casa de un ladrón sea robada). Si una base de datos nacional de ADN ayudara significativamente a la policía a capturar criminales, las objeciones tendrían que ser muy importantes para superar a los beneficios.

No obstante, he aquí una primera precaución importante. Una cosa es utilizar fichas de identidad de ADN, o fichas de identidad de cualquier tipo, a gran escala para corroborar una sospecha que la policía ya tiene sobre otras bases, y otra muy distinta es arrestar a cualquier persona del país que coincida con la muestra. Si existe una pequeña probabilidad de parecido *fortuito* entre, pongamos por caso, una muestra de semen y la sangre de un individuo inocente, la probabilidad de que *también* se sospeche falsamente de dicho individuo sobre la base de juicios independientes es, evidentemente, mucho más pequeña. La técnica de buscar simplemente en la base de datos y arrestar a la única persona que coincide con la muestra tiene, por lo tanto, una probabilidad significativamente mayor de conducir a una injusticia que un sistema que requiere unos fundamentos previos para la sospecha. Si una muestra de la escena de un crimen en Edimburgo resulta coincidir con mi ADN, ¿deberá permitirse a la policía martillar a mi puerta en Ox-

ford y arrestarme sin ninguna otra evidencia? Pienso que no, pero vale la pena señalar que la policía ya hace algo equivalente a eso con los rasgos faciales, cuando anuncia a través de la prensa nacional una imagen de Identikit³ o una instantánea tomada por un testigo, e invita a las personas de todo el país a telefonar a la policía si «reconocen» la cara. De nuevo, tenemos que prevenirnos contra nuestra tendencia natural a confiar en el reconocimiento facial por encima de todos los demás tipos de identificación individual.

Dejando aparte el crimen, existe un peligro real de que la información contenida en la base de datos nacional de ADN caiga en malas manos. Quiero decir en las manos de quienes quieran utilizarla no para capturar a criminales, sino para otros fines, quizá conectados con seguros médicos o chantajes. Existen razones respetables por las que personas sin ninguna intención criminal en absoluto podrían no querer que su perfil de ADN sea conocido, y me parece que su intimidad debe respetarse. Por ejemplo, un número significativo de individuos que creen ser padres de determinados hijos no lo son. Asimismo, un número significativo de niños cree que su padre es alguien que en realidad no lo es. Cualquiera con acceso a la base de datos nacional de ADN podría descubrir la verdad, y el resultado podría ser grandes angustias emocionales, matrimonios deshechos, colapsos nerviosos, chantaje, o algo peor. Puede haber quienes creen que la verdad siempre debe hacerse pública, por dolorosa que sea, pero pienso que hay buenas razones para creer que la suma total de la felicidad humana no aumentaría por una súbita erupción de revelaciones sobre la verdadera paternidad de cada cual.

Después están los aspectos médicos y de seguros. Todo el negocio de los seguros de vida depende de la incapacidad de predecir exactamente cuándo va a morir una persona concreta. Como dijo Sir Arthur Eddington: «La vida humana es proverbialmente insegura; pocas cosas son más seguras que la solvencia de una compañía de seguros de vida». Todos pagamos nuestras primas. Los que morimos más tarde de lo esperado subsidiamos a (los herederos de) los que mueren antes

3. Reconstrucción de la cara de un presunto criminal a base de unir una serie de rasgos faciales (cabello, nariz, ojos, boca, pómulos, etcétera) previamente tipificados que se suministran para su identificación a los testigos presenciales. (*N. del T.*)

de lo esperado. Las compañías de seguros ya hacen conjeturas estadísticas que en parte subvierten el sistema al permitirles cargar con primas mayores a los clientes de alto riesgo. Envían a un médico para que escuche nuestro corazón, tome nuestra tensión sanguínea e investigue nuestros hábitos de fumar y beber. Si los actuarios de seguros supieran exactamente cuándo vamos a morir cada uno de nosotros, sería imposible asegurar la vida. En principio, una base de datos nacional de ADN, si los actuarios pudieran poner sus manos en ella, nos podría conducir más cerca de este desgraciado resultado. Se podría llegar al extremo de que el único riesgo de muerte contra el que podríamos asegurarnos sería el de muerte por puro accidente.

De manera similar, las personas que seleccionan a los aspirantes a un puesto de trabajo o una plaza en la universidad podrían utilizar la información del ADN de formas que muchos de nosotros encontraríamos indeseables. Algunos empleadores utilizan ya métodos dudosos como la grafología (análisis de la escritura como supuesta guía para conocer el carácter o la aptitud). A diferencia de la grafología, hay buenas razones para pensar que la información procedente del ADN podría ser verdaderamente útil para juzgar las capacidades. Aun así, yo sería uno de los muchos que se inquietarían si las comisiones de selección hicieran uso de la información del ADN, al menos en secreto.

Uno de los argumentos generales contra las bases de datos nacionales de cualquier tipo es el argumento «¿y qué pasaría si cayera en manos de un Hitler?». A primera vista, no está claro de qué manera un gobierno malvado podría beneficiarse de una base de datos de información real sobre las personas. Si son tan expertos en la utilización de información falsa, podría decirse, ¿por qué preocuparse del mal uso que pudieran hacer de la información real? Sin embargo, en el caso de Hitler está el aspecto de su campaña contra los judíos y otras etnias. Aunque no es cierto que se pueda reconocer a un judío por su ADN, hay determinados genes que son característicos de personas cuyos antepasados proceden de determinadas regiones de, pongamos por caso, Europa central, y existen una correlación estadística entre la posesión de determinados genes y el hecho de ser judío. Parece innegable que, si el régimen de Hitler hubiera tenido a su disposición una base de datos nacional de ADN, habría encontrado maneras terribles de hacer un mal uso de ella.

¿Existen medios para salvaguardar a la sociedad de estos males potenciales, al tiempo que se conserva el beneficio de ayudar a capturar criminales? No estoy seguro. Pienso que puede ser difícil. Se podría proteger a los ciudadanos honestos de las compañías de seguros y de los empleadores restringiendo la base de datos nacional a regiones no codificadoras del genoma. La base de datos se referiría únicamente a áreas de repeticiones en doblete, no a genes que realmente hacen algo. Esto evitaría que los actuarios averiguaran nuestra esperanza de vida y que los cazatalentos descubrieran nuestras capacidades. Pero no haría nada para protegernos de descubrir (o de que los chantajistas descubrieran) verdades acerca de la paternidad que podríamos preferir no saber. Bien al contrario, la identificación de los huesos de Josef Mengele a partir de la sangre de su hijo se basó enteramente en ADN repetitivo. No veo una respuesta fácil a esta objeción, excepto decir que, a medida que las pruebas de ADN se van haciendo más fáciles, será cada vez más sencillo descubrir la paternidad en cualquier caso, sin necesidad de acudir a una base de datos nacional. Un hombre que sospeche que «su» hijo no es realmente suyo, puede hoy tomar sangre de su hijo y hacerla comparar con la suya propia. No necesitará para nada una base de datos nacional.

No sólo en los tribunales de justicia se plantean asuntos científicos: las decisiones de comisiones de investigación y otros cuerpos encargados de descubrir qué ocurrió en algún incidente o accidente dependen con frecuencia de expertos. Se solicita la opinión de científicos en tanto que testimonios expertos sobre asuntos objetivos: sobre los tecnicismos de la fatiga de los metales, sobre la infecciosidad de la enfermedad de las vacas locas, etcétera. Después, una vez han suministrado su pericia, se despide a los científicos para que los encargados del grave asunto de tomar decisiones puedan continuar deliberando. La implicación es que los científicos son buenos a la hora de descubrir hechos detallados, pero que otros, con frecuencia abogados o jueces, están mejor cualificados para integrarlos y recomendar lo que debe hacerse. Bien al contrario, puede argumentarse con ventaja que los modos de pensar de los científicos son valiosos, no ya a la hora de ensamblar hechos detallados, sino para llegar al veredicto final. Cuando ha habido un accidente de avia-

ción, pongamos por caso, o un tumulto futbolístico que ha acabado en desastre, un científico puede estar mejor cualificado para presidir la investigación que un juez, no por lo que saben los científicos, sino por los métodos que aplican para descubrir cosas y tomar decisiones.

El caso de la prueba del ADN sugiere que los abogados serían mejores abogados, los jueces mejores jueces, los parlamentarios mejores parlamentarios y los ciudadanos mejores ciudadanos si supieran más ciencia y, lo que es más pertinente, si razonaran más como científicos. Esto no es sólo porque los científicos valoran más alcanzar la verdad que ganar un caso. Los jueces, y los que deben tomar decisiones en general, tomarían decisiones mejores si fueran más versados en las artes del razonamiento estadístico y de la evaluación de probabilidades. Este punto volverá a surgir en los dos capítulos siguientes, que tratan de la superstición y de lo que se ha dado en llamar paranormal.

6 Embaucados por la fantasía de las hadas

La credulidad es la debilidad del hombre, pero la fuerza del niño.

Charles Lamb, *Essays of Elia* [*Ensayos de Elia*] (WS)

Tenemos apetito de maravillas, un apetito poético que la auténtica ciencia debiera alimentar, pero que está siendo secuestrado, con frecuencia por el afán de lucro, por los proveedores de la superstición, lo paranormal y la astrología. Frases resonantes del estilo de «la cuarta casa de la era de Acuario», o «Neptuno retrocedió y se desplazó a Sagitario» excitan falsas ideas románticas que, para los ingenuos e impresionables, son apenas distinguibles de la auténtica poesía científica, de **la** que son buenas muestras frases como «El universo es generoso más allá de lo imaginable», de *Sombras de antepasados olvidados*, de Cari Sagan y Ann Druyan (1992) o, del mismo libro (después de describir de qué manera el sistema solar se condensó a partir de un disco en rotación), «El disco se agita repleto de posibles futuros». En otro libro, Carl Sagan señalaba:

¿Cómo es que apenas ninguna de las principales religiones ha considerado la ciencia y ha llegado a la siguiente conclusión: «¡Esto es mejor de lo que pensábamos! El universo es mucho mayor de lo que dijeron nuestros profetas, más grandioso, más sutil, más elegante»? En vez de eso dicen: «¡No, no, no! Mi dios es un dios pequeño, y quiero que siga siéndolo». Una religión, vieja o nueva, que resaltara la magnificencia del universo tal como la revela la ciencia moderna podría ser capaz de movilizar reservas de reverencia y admiración que las confesiones convencionales apenas han explotado.

Un punto azul pálido (1995)

La decadencia de las religiones occidentales tradicionales ha creado un vacío que parece estar siendo ocupado no por la ciencia, con su visión más clarividente y grandiosa del cosmos, sino por lo paranormal y la astrología. Cabía esperar que, a finales del siglo xx, el más fecundo de todos desde el punto de vista científico, la ciencia se hubiera incorporado a nuestra cultura y nuestro sentido estético se hubiera ampliado para ir al encuentro de su poesía. Sin revivir el pesimismo de C.P. Snow en los años cincuenta, veo con disgusto que, a las puertas del fin de siglo, estas esperanzas no se han materializado. Los libros de astrología se venden más que los de astronomía. La televisión allana el camino a magos de segunda categoría que se hacen pasar por médiums y clarividentes. Este capítulo intenta explicar la superstición y la credulidad, así como la facilidad con que pueden explotarse. A continuación, el capítulo 7 aboga por el simple pensamiento estadístico como antídoto para la enfermedad paranormal. Empecemos por la astrología.

El 27 de diciembre de 1997, uno de los periódicos británicos de mayor circulación, el *Daily Mail*, dedicaba su principal noticia de portada a la astrología, con el siguiente titular a toda plana: «1998: El alba de Acuario». Uno casi se siente agradecido cuando el artículo prosigue admitiendo que el cometa Hale Bopp no fue la causa *directa* de la muerte de la princesa Diana. El astrólogo del periódico, muy bien pagado por cierto, nos dice que «el poderoso y lento Neptuno» está a punto de unir sus «fuerzas» con el igualmente poderoso Urano a medida que se desplaza hacia Acuario. Esto tendrá consecuencias espectaculares:

... el Sol se elevará. Y el cometa ha venido a recordarnos que este Sol no es un sol físico, sino un sol espiritual, psíquico, interior. Por lo tanto, no tiene por qué obedecer a la ley de la gravedad. Puede elevarse sobre el horizonte de forma más célere si suficiente gente se levanta para darle la bienvenida y animarlo. Y puede disipar la oscuridad en el momento en que aparece.

¿Cómo puede la gente encontrar atractivas estas simplezas, especialmente cuando se las compara con el universo real revelado por la astronomía?

En una noche sin luna, cuando «las estrellas parecen muy frías en el cielo», y las únicas nubes visibles son las manchas relucientes de la Vía Láctea, vayámonos a un lugar alejado de la contaminación lumínica de las calles, tendámonos sobre la hierba y contemplemos el cielo. Superficialmente se aprecian constelaciones, pero la pauta de una constelación apenas tiene más significado que una mancha de humedad en el techo del cuarto de baño. Adviértase, en consecuencia, el escaso contenido de frases como «Neptuno se desplaza hacia Acuario». Acuario es un conjunto heterogéneo de estrellas, todas ellas a distancias variables de nosotros y desconectadas entre sí, excepción hecha de que constituyen un dibujo (sin sentido) cuando se las contempla desde cierto lugar (no particularmente especial) de la galaxia (aquí). Una constelación no es una entidad en absoluto y, por lo tanto, no es la clase de cosa hacia la que Neptuno, o lo que sea, puede decirse con propiedad que «se desplaza».

Además, el trazado de una constelación es efímero. Hace un millón de años, nuestros antepasados *Homo erectas* miraban con curiosidad durante la noche (entonces no había contaminación lumínica, a menos que procediera de la brillante innovación de aquella especie, el fuego de campamento) a un conjunto de constelaciones muy distintas. Dentro de un millón de años, nuestros descendientes verán otras formas en el cielo, y ya sabemos exactamente qué aspecto tendrán. Éste es el tipo de predicción detallada que los astrónomos, pero no los astrólogos, pueden hacer. Y, a diferencia de las predicciones astrológicas, será correcta.

Debido a la velocidad finita de la luz, cuando miramos la nebulosa de Andrómeda la estamos viendo tal como era hace 2,3 millones de años, cuando *Australopithecus* cazaba al acecho en pleno *veldt*, la antigua sabana del África austral. Estamos mirando al pasado. Si desplazamos nuestros ojos unos pocos grados para contemplar la estrella brillante más cercana de la constelación de Andrómeda, Mirach, la estaremos viendo tal como era cuando quebró Wall Street. El Sol está a sólo ocho minutos en el pasado. Pero si apuntamos un gran telescopio a la galaxia del Sombrero estaremos contemplando un billón de soles tal como eran cuando nuestros antepasados rabudos atisbaban tímidamente a través del dosel arbóreo y la India colisionaba con Asia creando la cordillera del Himalaya. Una colisión a mayor escala entre dos galaxias en el Quinteto de Stephan se nos muestra tal como era en una

época en la que en la Tierra alboreaban los dinosaurios y los trilobites acababan de desaparecer.

Nómbrese cualquier acontecimiento histórico y encontraremos una estrella cuya luz nos proporcione un vislumbre de algo que ocurrió durante aquel año. A menos que uno sea un niño muy pequeño, en algún lugar del cielo nocturno uno puede encontrar su estrella natal personal. Su luz es un resplandor termonuclear que proclama el año de nuestro nacimiento. En realidad, podemos encontrar unas cuantas de tales estrellas (unas 40 si uno tiene 40 años; unas 70 si uno tiene 50; unas 175 si uno tiene 80 años de edad). Cuando observamos una de las estrellas de nuestro año de nacimiento, nuestro telescopio es una máquina del tiempo que nos permite contemplar acontecimientos termonucleares que tuvieron lugar en el año en que nacimos. Una fatuidad agradable, pero eso es todo. Nuestra estrella de nacimiento no se dignará decirnos nada acerca de nuestra personalidad, nuestro futuro o nuestras compatibilidades sexuales. Las estrellas tienen órdenes del día mayores, en los que no figuran las insignificantes preocupaciones humanas.

Obviamente, nuestra estrella de nacimiento sólo es nuestra durante este año. El año próximo deberemos mirar hacia la superficie de una esfera mayor situada a un año luz más de distancia. Piénsese en esta esfera en expansión como un radio de buenas noticias, la noticia de nuestro nacimiento que se emite constantemente hacia el exterior. En el universo einsteniano en el que la mayoría de científicos cree hoy que vivimos, no hay nada en principio que pueda viajar más deprisa que la luz. De modo que, si el lector tiene 50 años de edad, dispone de una burbuja personal de noticias con un radio de 50 años luz. Dentro de esta esfera (que contiene algo más de mil estrellas) es *en principio* posible (aunque evidentemente no en la práctica) que se hayan infiltrado las noticias de su existencia. Fuera de esta esfera el lector no existe en un sentido einsteniano. Las personas mayores tienen esferas de existencia más grandes que las más jóvenes, pero no hay nadie cuya existencia se extienda más allá de una minúscula fracción del universo. El nacimiento de Jesucristo nos puede parecer un acontecimiento antiguo y trascendental, ahora que llegamos a su segundo milenario. Pero la noticia es tan reciente a esta escala que, incluso en las circunstancias más ideales, en principio sólo podría haber sido proclamada a menos de la mitad de una cienbillonésima de las estrellas del universo. Mu

chas de las estrellas que vemos, si no todas, estarán orbitadas por planetas. La cifra es tan enorme que es probable que muchos de ellos alberguen formas de vida, algunas de las cuales habrán desarrollado inteligencia y tecnología. Pero las distancias y los tiempos que nos separan son tan grandes que miles de formas de vida podrían evolucionar de manera independiente y extinguirse sin que fuera posible para ninguna de ellas saber de la existencia de ninguna otra.

Para calcular el número de estrellas natales he supuesto que la separación media entre estrellas es de unos 7,6 años luz de distancia. Esto es aproximadamente lo que ocurre en nuestra región local de la Vía Láctea. Parece una densidad asombrosamente baja (unos 440 años luz cúbicos por estrella), pero en realidad es alta en comparación con la densidad de estrellas en el universo en su conjunto, donde el espacio entre galaxias está vacío. Isaac Asimov tiene una ilustración espectacular: es como si toda la materia del universo fuera un único grano de arena situado en el centro de una habitación vacía de 35 kilómetros de longitud, 35 de anchura y 35 de altura. Pero, al mismo tiempo, es como si este único grano de arena estuviera pulverizado en mil millones de millones de millones de fragmentos, porque éste es aproximadamente el número de estrellas que hay en el universo. Éstos son algunos de los datos desapasionados de la astronomía, y puede verse que son hermosos.

La astrología, en comparación, es un insulto estético. Sus escarceos precopemicanos degradan y rebajan la astronomía, como cuando se utiliza a Beethoven para estribillos comerciales. También es una afrenta para la ciencia de la psicología y para la riqueza de la personalidad humana. Estoy hablando de la manera frívola y potencialmente perjudicial que tienen los astrólogos de dividir a las personas en 12 categorías. Los escorpio son tipos alegres y comunicativos, mientras que los leo, con sus personalidades metódicas, compaginan bien con los libra (o lo que quiera que sea). Mi mujer, Lalla Ward, recuerda una ocasión en la que una joven actriz norteamericana se acercó al director de la película en la que ambas trabajaban y le espetó: «¡Caramba!, señor Preminger, ¿de qué signo es usted?», para recibir el siguiente desaire inmortal, en un fuerte acento austríaco: «Soy del signo "no molestar"».¹

1. En inglés, *sign* admite varios significados, entre ellos «signo» (del zodiaco, en este caso) y «letrero o rótulo» (como el que se coloca en la puerta de la habitación de un hotel, en el ejemplo). (*N. del T.*)

La personalidad es un fenómeno real, y los psicólogos han desarrollado con cierto éxito modelos matemáticos para manejar su variación en muchas dimensiones. El número inicialmente grande de dimensiones puede reducirse matemáticamente, con una pérdida medible de poder predictivo. Este número menor de dimensiones derivadas corresponde a veces a las dimensiones que intuitivamente pensamos que reconocemos (agresividad, obstinación, afectuosidad, etcétera). Resumir la personalidad de un individuo como un punto en un espacio multidimensional es una aproximación útil cuyas limitaciones pueden establecerse. Hay una gran diferencia entre esto y cualquier categorización mutuamente exclusiva, y más todavía la ridícula ficción de los 12 cubos de basura de la astrología de los periódicos. Se basa en datos genuinamente relevantes acerca de las personas, no en sus fechas de nacimiento. La escala multidimensional del psicólogo puede ser útil para decidir si una persona es adecuada para una determinada carrera, o si los miembros de una pareja de prometidos lo son el uno para el otro. Las 12 casillas del astrólogo son, en el mejor de los casos, una distracción costosa e irrelevante.

Además, contrastan extrañamente con nuestros fuertes tabúes y leyes actuales contra la discriminación. Se inculca a los lectores de periódicos a verse a sí mismos, y a sus amigos y colegas, como escorpio o libra, o cualquier otro de los 12 «signos» míticos. Si se piensa en ello un momento, ¿no se trata de una forma de etiquetaje discriminador como los estereotipos culturales que muchos de nosotros encontramos hoy censurables? Puedo imaginar una pieza corta de los Monty Python en la que un periódico publica una columna diaria con algo así:

Alemanes: Forma parte de tu naturaleza ser trabajador y metódico, lo que hoy te será útil en tu trabajo. En tus relaciones personales, en especial esta noche, tendrás que refrenar tu tendencia natural a obedecer órdenes.

Espanoles: Tu caliente sangre latina puede conseguir lo mejor de ti, de modo que guárdate de hacer algo que puedas lamentar. Y mantente apartado del ajo a la hora de comer si tienes aspiraciones románticas para la noche.

Chinos: La inescrutabilidad tiene muchas ventajas, pero hoy puede ser tu ruina...

Ingleses: Tu obstinación puede servirte bien en los tratos comerciales, pero intenta relajarte y dejarte ir en tu vida social.

Y así sucesivamente a lo largo de 12 estereotipos nacionales. Sin duda las columnas de astrología son menos ofensivas, pero debemos preguntarnos dónde residen exactamente las diferencias. Ambas son culpables de discriminación fácil, al dividir a los seres humanos en grupos mutuamente excluyentes sin ninguna base. Aun en el caso de que hubiera indicios de algunos leves efectos estadísticos, ambos tipos de discriminación alientan el trato prejuicioso a las personas, al considerarlas como *tipos* y no como individuos. Ya se pueden ver anuncios en las columnas de corazones solitarios que incluyen frases tales como «Escorpios abstenerse» o «No hace falta que los tauro escriban». Desde luego, esto no es tan malo como los infames carteles que pregonaban «Negros no» o «Irlandeses no», porque el prejuicio astrológico no se ejerce de manera consistente sobre algunos signos zodiacales más que otros, pero el principio de creación y discriminación de estereotipos (en oposición a aceptar a las personas como individuos) persiste.

Puede que incluso haya tristes consecuencias humanas. El objetivo básico de anunciarse en las columnas de contactos es aumentar la superficie de captación de compañeros sexuales (y es cierto que el círculo de los compañeros de trabajo y los amigos de los amigos suele ser escaso y necesita enriquecerse). A las personas solitarias, cuya vida podría verse transformada por una amistad compatible y largo tiempo deseada, se las anima a desechar, de manera injustificable y sin sentido, hasta once doceavas partes de la población disponible. Hay personas vulnerables ahí fuera, y debieran ser dignas de compasión, no objeto de engaño deliberado.

Según una anécdota apócrifa, hace algunos años un ganapán de un periódico que, tras sacar la pajita más corta, tuvo que redactar los consejos astrológicos del día, alivió su aburrimiento escribiendo bajo un signo zodiacal las siguientes líneas siniestras: «Todas las penas del año pasado son nimiedades en comparación con las que hoy caerán sobre

ti». Fue despedido después de que la centralita del periódico quedara bloqueada por las llamadas de lectores presa del pánico, testimonio patético de la candida confianza que la gente puede depositar en la astro-logía.

Además de la legislación contra la discriminación, tenemos leyes destinadas a protegernos de los fabricantes que hacen falsas afirmaciones acerca de sus productos. La ley no se invoca en defensa de la simple verdad acerca del mundo natural. Si así fuera, los astrólogos proporcionarían el mejor caso de prueba que pueda desearse. Afirman que pueden predecir el futuro y adivinar las flaquezas personales, y son pagados por ello, así como por su asesoramiento profesional a individuos en ocasión de decisiones importantes. Un fabricante de productos farmacéuticos que pusiera en el mercado una pildora anticonceptiva que no tuviera el menor efecto demostrable sobre la fertilidad sería procesado de acuerdo con la leyes de comercio y demandado por las dientas que quedarán embarazadas. De nuevo, aunque parezca una reacción excesiva, realmente no puedo entender por qué los astrólogos profesionales no son arrestados por fraude e incitación a la discriminación.

El *Daily Telegraph* del 18 de noviembre de 1997 informaba de que un supuesto exorcista, que había persuadido a una crédula joven para que tuviera relaciones sexuales con él so pretexto de expulsar espíritus malignos del cuerpo de la chica, había sido encarcelado para cumplir 18 meses de condena. El hombre había enseñado a la joven algunos libros de quiromancia y magia, y después le dijo que estaba «aojada: alguien le había echado mala suerte». Con el fin de exorcizarla, le explicó, tenía que ungir la completamente con aceites especiales. Ella consintió en quitarse toda la ropa con este propósito. Finalmente, la convenció de que debía copular con él «para liberarla de los espíritus». Ahora bien, me parece que la sociedad no debería practicar este doble juego. Si es correcto encarcelar a este hombre por aprovecharse de una joven crédula (mayor de edad), ¿por qué no enjuiciamos de la misma manera a los astrólogos que aceptan dinero de personas igualmente crédulas, o a los adivinadores «psíquicos» que timan a compamas petroleras para que paguen, con el dinero de los accionistas, caras «consultas» sobre dónde perforar? Por el contrario, si se afirma que los necios deberían ser libres de dar su dinero a un charlatán si así lo desean, ¿por qué razón el «exorcista» sexual no podría aducir una defensa pa-

recida, invocando la libertad de la joven de ofrecer su cuerpo en aras de una ceremonia ritual en la cual tenía una fe genuina en aquel momento?

No existe mecanismo físico conocido por el que la posición de cuerpos celestes distantes en el momento de nuestro nacimiento pueda ejercer influencia causal alguna sobre nuestra naturaleza o nuestro destino. Esto no descarta la posibilidad de alguna influencia física desconocida. Pero sólo tenemos que preocuparnos por ella si alguien puede aportar algún indicio de que los movimientos de los planetas contra el telón de fondo de las constelaciones tiene realmente una mínima influencia sobre los asuntos humanos. Ningún indicio de este tipo ha resistido nunca una investigación adecuada. La inmensa mayoría de estudios científicos de la astrología no ha producido ningún resultado positivo. Unos (muy) pocos estudios han sugerido (débilmente) una correlación estadística entre el «signo» del zodiaco y el carácter. Estos pocos resultados positivos resultaron tener una interesante explicación. Muchas personas son tan versadas en el saber popular de los signos zodiacales que saben qué rasgos se esperan de ellas. Esto hace que tengan cierta tendencia a vivir de acuerdo con estas expectativas... no muy marcada, pero lo bastante para producir los ligerísimos efectos estadísticos observados.

Una prueba mínima que cualquier método de diagnóstico o adivinación respetable debería pasar es la *defiabilidad*. No se trata de ver si el método realmente funciona, sino de confrontar a distintos profesionales con la misma evidencia (o dos veces al mismo profesional con la misma evidencia) para ver si están de acuerdo. Aunque no creo que la astrología funcione, habría esperado notas altas de fiabilidad en este sentido de coherencia intrínseca. Después de todo, es presumible que los distintos astrólogos tengan acceso a los mismos libros. Incluso si sus veredictos son erróneos, uno podría pensar que sus métodos son lo bastante sistemáticos para, al menos, producir los *mismos* veredictos erróneos. Pero, ¡ay!, como ha demostrado un estudio de G. Deán y otros, ni siquiera alcanzan este hito mínimo y fácil. A modo de comparación, cuando diferentes evaluadores juzgaron a personas de acuerdo con entrevistas estructuradas, el coeficiente de correlación fue superior a 0,8 (un coeficiente de correlación de 1,0 representa la concordancia perfecta, uno de -1,0 la disconformidad absoluta, y uno de 0,0 la alea-

toriedad completa, o falta de asociación; 0,8 está muy bien). Frente a esto, en el mismo estudio, el coeficiente de fiabilidad para la astrología fue un mísero 0,1, comparable a la cifra para la quiromancia (0,11), lo que indica una aleatoriedad casi total. Por equivocados que estén los astrólogos, uno pensaría que representarían su papel al unísono, al menos para ser *consistentes*. Parece ser que no es así. Los análisis de la grafología (el análisis de la caligrafía) y de Rorschach (manchas de tinta) no son mucho mejores.

El puesto de astrólogo requiere tan poco aprendizaje o experiencia que con frecuencia se adjudica a un periodista novato que disponga de tiempo. El periodista Jan Moir cuenta en el *Guardián* del 6 de octubre de 1994 que «El primer trabajo que tuve en el periodismo fue redactar horóscopos para un grupo de revistas femeninas. Era el trabajo de despacho que le tocaba hacer siempre a los recién llegados, porque era tan estúpido y fácil que hasta un novato como yo podía hacerlo». También el prestidigitador y racionalista James Randi ocupó en su juventud un puesto de astrólogo en un periódico de Montreal, bajo el seudónimo de Zo-ran. El procedimiento de Randi consistía en hacerse con revistas de astrología viejas, recortar sus previsiones, mezclarlas en un sombrero, pegarlas al azar en los 12 «signos» y después publicarlas como sus propias «predicciones». Randi describe la conversación que oyó en un café entre una pareja de oficinistas que examinaban ansiosamente la columna de «Zo-ran» en el diario.

Emitían chillidos de gusto al ver su futuro tan bien explicado, y en respuesta a mi pregunta me dijeron que Zo-ran «las había acertado todas» la semana anterior. No revelé mi identidad... La reacción a la columna en el correo también había sido muy interesante, y suficiente para que yo decidiera que muchas personas aceptarán y racionalizarán casi cualquier afirmación hecha por alguien al que creen una autoridad con poderes místicos. En este punto, Zo-ran colgó sus tijeras, apartó el bote de pegamento y dejó el trabajo.

Flim-Flam (1992)

Hay evidencias, a partir de cuestionarios, de que muchas personas que leen diariamente los horóscopos en realidad no creen en ellos. Afirman que los leen sólo como «evasión» (está claro que su gusto en

materia de literatura de evasión es diferente del mío). Pero hay un número significativo de personas que realmente cree en ellos y actúa en función de ellos, incluyendo, según informes alarmantes y por lo visto auténticos, a Ronald Reagan durante su mandato como presidente. ¿Por qué debería uno hacer caso de los horóscopos?

En primer lugar, las predicciones, o las reseñas de caracteres, son tan insulsas, vagas y generales que encajan casi con cualquier persona y circunstancia. Por lo general, la gente se limita a leer su propio horóscopo en el periódico. Si se obligara a leer los otros once, seguramente se impresionaría mucho menos por la coincidencia del propio. En segundo lugar, la gente tiende a recordar los aciertos y olvidar los fallos. Si en un horóscopo de un párrafo hay una frase que parece acertar, uno repara en esa frase concreta, mientras que los ojos pasan sin mirar por las frases restantes. Incluso si se da el caso de un pronóstico notoriamente equivocado, es muy probable que se atribuya a una interesante excepción o anomalía y no a una indicación de que todo el asunto podría ser una superchería. David Bellamy, popular científico televisivo (y un auténtico héroe del conservacionismo), confesaba a *Radio Times* (ese órgano antaño respetado de la BBC) que posee la «precaución de Capricornio» con respecto a determinadas cosas, pero que las más de las veces baja la cabeza y carga como una verdadera cabra. ¿No es interesante? Esto confirma lo que siempre he dicho: ¡la excepción que confirma la regla! Es de suponer que Bellamy sabía que no es así, y que simplemente seguía la corriente entre personas cultas de considerar la astrología como una diversión inocua. Yo dudo que sea inocua, y me pregunto si la gente que la entiende como diversión se ha divertido realmente alguna vez con ella.

«Una mamá da a luz un gatito de 3 kg» es un titular típico de un periódico llamado *Sunday Sport* que, como su equivalente norteamericano el *National Enquirer* (con una circulación de 4 millones de ejemplares), se dedica enteramente a publicar relatos increíbles hasta el absurdo como si fueran hechos probados. Una vez conocí a una mujer que trabajaba con dedicación exclusiva en la invención de este tipo de relatos para una publicación norteamericana, y me dijo que ella y sus colegas rivalizaban entre sí para ver quién conseguía las historias más ridículas y extravagantes. Resultó ser una competición vacía, porque no parece haber límite alguno a lo que la gente está dispuesta a creer

sólo con que lo vea impreso. En la página siguiente a la del relato del gatito de 3 kg, el *Sunday Sport* publicaba un artículo acerca de un mago que no podía soportar las regañinas de su mujer, de modo que la convirtió en un conejo. Además de complacerse en el estereotipo pre-juicioso de la esposa molesta, el mismo ejemplar del periódico añadía un aderezo xenófobo a sus fantasías: «Griego loco convierte a un muchacho en kebab». Otras noticias muy queridas de estos periódicos incluyen «Marilyn Monroe vuelve en forma de lechuga» (completada con una fotografía de la malograda diosa de la pantalla coloreada en verde dentro del cogollo de una hortaliza fresca), y «Hallada una estatua de El vis en Marte».

1

Las visiones de un Elvis Presley resucitado son numerosas. El culto a Elvis, con sus uñas de los dedos de los pies y otras reliquias guardadas como tesoros, sus iconos y sus peregrinajes, lleva camino de convertirse en una nueva religión con todas las de la ley, pero no deberá dormirse en sus laureles si no quiere que el culto a la princesa Diana, más reciente, le tome la delantera. Las multitudes que hacían cola para firmar en el libro de condolencia después de su muerte en 1997 informaron a los periodistas de que se podía ver claramente su cara a través de una ventana, mirando desde un viejo retrato que colgaba de una pared. Como en el caso del Ángel de Mons, que se aparecía a los soldados durante los días más oscuros de la primera guerra mundial, numerosos testigos presenciales «vieron» el espectro de Diana, y la noticia se extendió como un reguero de pólvora entre las multitudes enfervorizadas por la prensa sensacionalista.

La televisión es un medio de comunicación aún más poderoso que la prensa, y estamos en las garras de lo que casi es una epidemia de propaganda paranormal en la televisión. En uno de los ejemplos más notorios de los últimos años en Gran Bretaña, un curandero aseguraba ser el receptáculo del alma de un médico muerto hacía 2000 años, llamado Pablo de Judea. Sin un solo murmullo de indagación crítica, la BBC dedicó todo un programa de media hora a promover esta fantasía como si fuera cierta. Posteriormente tuve un enfrentamiento con el editor delegado de este programa, en un debate público bajo el lema «Venderse a lo sobrenatural», en el Festival de Televisión de Edimburgo de 1996. La principal defensa del editor era que el hombre estaba haciendo una buena labor curando a sus pacientes. Parecía creer

verdaderamente que esto era todo lo que importaba. ¿Qué importa si realmente tiene lugar la reencarnación, mientras el curandero pueda ofrecer algún consuelo a sus pacientes? Para mí, la respuesta contundente llegó en un informe de prensa que la BBC repartió para acompañar el espectáculo. Entre la lista de personas a quienes se agradecía su asesoramiento por la supervisión de los contenidos estaba nada menos que... ¡Pablo de Judea! Una cosa es que a la gente se le muestren en sus pantallas las creencias excéntricas de un individuo psicótico o fraudulento. Quizá esto sea evasión, incluso comedia, aunque lo encuentro tan criticable como reírse ante un espectáculo de feria en el que se exhiben personas monstruosas, o como la última moda estadounidense de montar violentas trifulcas maritales en la televisión. Pero otra cosa muy distinta es que la BBC malverse el peso de una reputación conseguida a lo largo de muchos años dando a entender que *accepta* literalmente la fantasía en el anuncio de la farsa.

Una fórmula barata pero efectiva de la televisión paranormal es emplear magos ordinarios, pero decir repetidamente a la audiencia que lo que está viendo es genuinamente sobrenatural. En una exhibición suplementaria de desprecio cínico para el coeficiente de inteligencia del espectador, estas actuaciones están sujetas a menos control y precaución de lo que lo estarían normalmente en la actuación de un mago. Los prestidigitadores *bona fide* realizan al menos los movimientos oportunos para demostrar que no guardan nada bajo la manga, que no hay alambres bajo la mesa. Cuando un artista se anuncia como «paranormal», se le dispensa incluso de esta dificultad rutinaria.

Permítaseme describir un ejemplo real, un acto de telepatía, de la reciente serie televisiva de Garitón *Beyond Belief [Más allá de lo creíble]*, producida y presentada por David Frost, una veterana personalidad de la televisión británica a quien algún gobierno consideró digno del título de caballero, y cuyo peso tiene su influencia en los televidentes. Los ejecutantes eran un equipo de padre e hijo venidos de Israel. El hijo, con los ojos tapados, podía ver «a través de los ojos de su padre». Se hizo funcionar un generador de números aleatorios, y salió un número. El padre lo miró fijamente, abriendo y cerrando los puños por la tensión, y preguntó a su hijo con un grito sofocado si podía hacerlo. «Sí, creo que sí», profirió el hijo. Naturalmente, adivinó el número. Rabioso aplauso. ¡Qué asombroso! Y no olviden, señores telespecta-

dores, que esto es TV en directo, y que se trata de *hechos objetivos*, no ficción como en *Expediente X*.

Lo que hemos presenciado no es más que un truco de magia familiar, bastante mediocre, favorito en los teatros de variedades y que se remonta al menos a un tal *signar Pinetti*, en 1784. Existen muchos códigos sencillos mediante los que el padre podía haber transmitido un número a su bien entrenado hijo. El número de palabras en su grito aparentemente inocente de «¿Puedes hacerlo, hijo?» es una posibilidad. En lugar de poner los ojos en blanco de asombro, David Frost podía haber intentado el sencillo experimento de amordazar al padre al tiempo que vendaba los ojos del hijo. La única diferencia en relación a un espectáculo de magia ordinario es que una cadena de televisión respetable lo ha calificado de «paranormal».

La mayoría de nosotros desconocemos cómo hacen sus trucos los magos. A veces me dejan atónito. No comprendo cómo extraen conejos de sombreros o sierran cajas por la mitad sin dañar a la dama que está dentro. Pero todos sabemos que existe una explicación perfectamente lógica que el mago podría revelarnos si quisiera, cosa que, de manera hartamente comprensible, no hace. ¿Por qué, entonces, cuando el mismo truco ostenta la etiqueta de «paranormal» que le otorga una cadena de televisión, consideramos que se trata de un milagro genuino?

Después están aquellos actuantes que parecen «sentir» que alguien de la audiencia tenía un ser amado cuyo nombre empezaba por M, poseía un pequinés y murió de algo que tenía que ver con el pecho: «clarividentes» y «médiums» con un conocimiento que aparentemente «no pueden haber obtenido por ningún medio normal». No dispongo de espacio para entrar en detalles, pero el truco, conocido como «lectura en frío», es bien conocido por los magos. Se trata de una sutil combinación de saber lo que es corriente (muchas personas mueren de fallo cardíaco o cáncer de pulmón) y de ir pescando pistas (la gente descubre involuntariamente las cartas cuando la cosa se va calentando) ayudado por la propensión de la audiencia a recordar los aciertos y olvidar los fallos. Los lectores en frío suelen utilizar soplonos que escuchan conversaciones cuando el público entra en el teatro, o incluso interrogan a la gente, y después informan al actuante en su camerino antes del espectáculo.

Si un paranormalista pudiera efectuar realmente una demostración adecuadamente contrastada de telepatía (precognición, psicoquinesis,

reencarnación, movimiento perpetuo, lo que sea) sería el descubridor de un principio totalmente nuevo, desconocido por la ciencia física. El descubridor del nuevo campo de energía que conecta una mente con otra en la telepatía, o de la nueva fuerza fundamental que desplaza los objetos sin truco por la superficie de una mesa, merece un premio Nobel, y probablemente lo obtendría. Si uno está en posesión de este revolucionario secreto de la ciencia, ¿por qué malgastarlo en entretenimientos televisivos amañados? ¿Por qué no demostrarlo adecuadamente y ser aclamado como el nuevo Newton? La respuesta está muy clara. No puede hacerlo. Es un farsante. Pero, gracias a los productores de televisión, crédulos o cínicos, un farsante adinerado.

Dicho esto, algunos «paranormalistas» son lo bastante hábiles para engañar a la mayoría de científicos, de manera que las personas mejor cualificadas para desenmascararlos no son los científicos, sino otros magos. Por eso los espiritistas y médiums más famosos suelen dar toda clase de excusas y rechazan subir al escenario si se enteran de que la primera fila está llena de magos profesionales. Varios buenos magos, entre ellos James Randi en Estados Unidos y Ian Rowland en Gran Bretaña, montan espectáculos en los que duplican públicamente los «milagros» de famosos paranormalistas... y luego explican a la audiencia que sólo son trucos. Los Racionalistas de la India son jóvenes magos consagrados que viajan por los pueblos y desenmascaran a los llamados «hombres sabios» emulando sus «milagros». Por desgracia, algunas personas *todavía* creen en los milagros, aún después de conocer el truco. Otros caen en la desesperación: «Bien, quizá Randi emplea trucos», dicen, «pero esto no significa que los otros no hagan milagros auténticos». Ante esto, Ian Rowland replicó de forma memorable: «Bueno, si de verdad *hacen* milagros, ¡los hacen de la forma más complicada!».

Se puede ganar mucho dinero engañando a los crédulos. Un mago normal y corriente no puede esperar, por lo común, salir del mercado de las fiestas para niños y llegar a la televisión de alcance nacional. Pero si hace pasar sus trucos como fenómenos genuinamente sobrenaturales, esto ya es otra cosa. Las compañías de televisión están dispuestas a colaborar en el engaño. Es bueno para los índices de audiencia. En lugar de aplaudir educadamente ante un truco de magia competente, los presentadores se quedan histriónicamente boquiabiertos e

inducen a los televidentes a creer que acaban de presenciar algo que desafía las leyes de la física. Personas desequilibradas explican sus fantasías de fantasmas y duendes pero, en lugar de enviarlas a un buen psiquiatra, los productores de televisión las fichan para su programa y después contratan actores para que efectúen reconstrucciones espectaculares de sus ilusiones... con efectos predecibles sobre la credulidad de grandes audiencias.

Corro el peligro de ser malinterpretado, y es importante que lo arrostre. Sería demasiado fácil proclamar de forma autocomplaciente que nuestro conocimiento científico actual es todo lo que hay que saber, que podemos estar seguros de que la astrología y las apariciones son disparates, sin más discusión, simplemente porque la ciencia actual no puede explicarlos. Después de todo, ¿es tan evidente que la astrología es un montón de palabrería? ¿Cómo sé que una madre humana no puede parir un gatito de tres kilos? ¿Cómo puedo estar seguro de que Elvis Presley no ha ascendido en gloriosa resurrección, dejando una tumba vacía? Cosas más raras se han visto. De hecho, cosas que hoy aceptamos como cotidianas, como la radio, les habrían parecido a nuestros antepasados tan improbables como las visitas espectrales. Para nosotros, un teléfono móvil puede no ser más que un fastidio antisocial en los trenes, pero para nuestros antepasados decimonónicos, para quienes los trenes eran una novedad, un teléfono móvil habría parecido pura magia. Como ha dicho Arthur C. Clarke, el distinguido escritor de ciencia ficción y evangelista del poder ilimitado de la ciencia y la tecnología: «Cualquier tecnología lo bastante avanzada es indistinguible de la magia». Esto ha recibido el nombre de Tercera Ley de Clarke, y volveré a ella.

William Thomson, el primer Lord Kelvin, fue uno de los más distinguidos e influyentes físicos ingleses decimonónicos. Para Darwin fue una espina clavada, porque «demostró» (con gran autoridad pero, como ahora sabemos, con un error de bulto) que la Tierra era demasiado joven para que en ella pudiera haberse dado la evolución. También se le atribuyen las siguientes tres predicciones seguras: «La radio no tiene futuro»; «Las máquinas voladoras más pesadas que el aire son imposibles»; «Se demostrará que los rayos X son un fraude». He aquí un hombre que llevó su escepticismo hasta el punto de jugarse (y ganarse) el ridículo ante las generaciones futuras. El mismo Arthur C.

Clarke, en su visionario libro *Perfiles del futuro* (1982), cuenta relatos aleccionadores que advierten de los peligros del escepticismo dogmático. Cuando Edison anunció en 1878 que estaba trabajando en la luz eléctrica, se envió una comisión parlamentaria inglesa para que investigara si había algo de interés en ello. El comité de expertos informó que la fantástica idea de Edison (lo que ahora conocemos como bombilla eléctrica) era «bastante buena para nuestros amigos transatlánticos..., pero no merece la atención de los hombres prácticos o científicos».

Para que la cosa no parezca una antología de relatos antibritánicos, Clarke cita también a dos distinguidos científicos norteamericanos sobre el tema de los aeroplanos. El astrónomo Simón Newcomb tuvo la mala suerte de hacer la siguiente afirmación justo antes de la famosa hazaña de los hermanos Wright en 1903:

La demostración de que no hay combinación posible de sustancias conocidas, formas de maquinaria conocidas y formas de fuerza conocidas, que puedan unirse en una máquina funcional con la que los hombres puedan cubrir largas distancias por el aire, le parece a este autor todo lo completa que puede ser la demostración de cualquier hecho físico.

Otro célebre astrónomo norteamericano, William Henry Pickering, afirmó categóricamente que, aunque las máquinas voladoras más pesadas que el aire eran *posibles* (tenía que admitirlo, porque los hermanos Wright ya habían volado), nunca se convertirían en una propuesta práctica seria:

La mente popular se imagina a veces máquinas voladoras gigantescas que sobrevuelan el Atlántico transportando innumerables pasajeros de forma análoga a nuestros modernos buques de vapor... Parece prudente decir que tales ideas deben ser completamente visionarias, y aunque una máquina pudiera atravesar el océano con uno o dos pasajeros, el gasto sería prohibitivo... Otra falacia popular es esperar que se consiga una velocidad enorme.

Pickering continúa «demostrando», mediante rigurosos cálculos sobre los efectos de la resistencia del aire, que un aeroplano no podría viajar

nunca más rápido que los trenes expresos de su tiempo. A primera vista, la observación que hizo Thomas J. Watson, gerente de IBM, en 1943, «Pienso que hay un mercado mundial para quizá cinco ordenadores», suena similar. Pero esto es injusto. Watson auguraba seguramente que los ordenadores se harían cada vez mayores, y en esto se equivocó; sin embargo, no estaba menospreciando la importancia del ordenador en el futuro, de la manera en que Kelvin y los otros desacreditaron los viajes aéreos.

Estas anécdotas de patinazos mayúsculos son, en realidad, avisos inquietantes de los peligros de un escepticismo en exceso celoso. La incredulidad dogmática ante cualquier cosa que parezca extraña o inexplicable no es una virtud. ¿Cuál es, pues, la diferencia entre ésta y mi escepticismo declarado ante la astrología, la reencarnación y la resurrección de Elvis Presley? ¿Cómo podemos diferenciar el escepticismo justificado de la miopía dogmática e intolerante?

Pensemos en un espectro de relatos que podrían contarnos y meditemos cuan escépticos deberíamos mostrarnos ante ellos. En el nivel más bajo están aquellas narraciones que podrían no ser ciertas, pero de las que no tenemos ningún motivo particular para dudar. En *Hombres en armas* (1952), de Evelyn Waugh, el personaje cómico, Apthorpe, suele hablarle al narrador, Guy Crouchback, de sus dos tías, una de las cuales vive en Peterborough y la otra en Tunbridge Wells. En su lecho de muerte, Apthorpe acaba confesando que, en realidad, sólo tiene una tía. ¿Cuál de las dos era la inventada?, pregunta Guy Crouchback. «La de Peterborough, por supuesto.» «Verdaderamente me engañaste por completo.» «Sí, fue una buena broma, ¿no?»

No, la de Apthorpe no fue una buena broma, y es precisamente esto lo que hace que la broma de Evelyn Waugh a costa de Apthorpe sea divertida. Hay, sin duda, muchas señoras de edad que residen en Peterborough, y si un hombre nos dice que tiene una tía que vive allí, no hay razón para no creerle. A menos que tenga algún motivo específico para mentirnos, bien podemos creerle, aunque si de ello dependen muchas cosas será prudente comprobar la evidencia. Ahora supongamos que alguien nos dice que su tía puede levitar por meditación y fuerza de voluntad. Se sienta con las piernas cruzadas, se nos dice, y piensa cosas bonitas, entona un manirá, se eleva sobre el suelo y permanece flotando en el aire. ¿Por qué ser más escépticos de lo que se-

riamos si un hombre nos dijera simplemente que tiene una tía en Peterborough, pues en ambos casos sólo tenemos la palabra de un testigo presencial?

La respuesta evidente es que la levitación por el poder de la voluntad no es explicable por la ciencia. Pero esto sólo vale para la ciencia de hoy. Esto nos lleva directamente a la Tercera Ley de Clarke, y al punto importante de que la ciencia de cualquier época no tiene todas las respuestas y acabará siendo reemplazada por otra. Quizá, en algún momento del futuro, los físicos comprenderán completamente la gravedad y construirán una máquina antigravitatoria. Es concebible que las tías levitantes puedan llegar a ser algo tan común para nuestros descendientes como los aviones a reacción lo son para nosotros. ¿Nos da derecho la Tercera Ley de Clarke a creer en todos y cada uno de los cuentos increíbles que la gente pueda urdir acerca de milagros aparentes? Si un hombre afirma que ha visto a su tía levitando con las piernas cruzadas, o a un turco volando a gran velocidad entre los minaretes montado en una alfombra mágica, ¿habremos de tragarnos esa historia sobre la base de que aquellos de nuestros antepasados que dudaron de la posibilidad de la radio resultaron estar equivocados? No, *por supuesto* que éstos no son motivos suficientes para creer en la levitación o las alfombras mágicas. Pero ¿por qué no?

La Tercera Ley de Clarke no funciona a la inversa. De «cualquier tecnología suficientemente avanzada es indistinguible de la magia» *no* se sigue que «cualquier afirmación mágica que pueda hacer cualquiera en cualquier momento es indistinguible de un avance tecnológico futuro». Sí, ha habido ocasiones en las que escépticos autorizados han terminado con huevos en su cara pontificadora. Pero es mucho mayor el número de afirmaciones mágicas que nunca han sido vindicadas. Unas cuantas cosas que nos sorprenderían en la actualidad probablemente se harán realidad en el futuro. Pero muchas más cosas que nos sorprenderían hoy *no* se harán realidad en el futuro. El truco consiste en separar la mena de la ganga de afirmaciones que permanecerán para siempre en el reino de la ficción y la magia.

Si nos topamos con un relato asombroso o milagroso, podemos empezar preguntándonos si nuestro informante tiene algún motivo para mentir. También podemos evaluar sus credenciales de otras maneras. Recuerdo una divertida cena con un filósofo que me contó la siguiente

anécdota: un día, en la iglesia, se dio cuenta de que un sacerdote que estaba arrodillado flotaba a un palmo de altura sobre el suelo de la iglesia. Mi escepticismo natural hacia mi compañero de cena aumentó cuando siguió relatando otras dos experiencias de las que había sido testigo presencial. Contó que, entre sus muchos cargos, una vez había sido director de un hogar para muchachos delincuentes, y descubrió que todos los chicos llevaban tatuada la frase «Quiero a mi mamá» en el pene. Una historia improbable por sí misma, pero no imposible. A diferencia del sacerdote que levitaba, la verdad de la segunda afirmación no cuestionaría grandes principios científicos. No obstante, parecía proporcionar una útil perspectiva sobre la credibilidad de mi vecino. En otra ocasión, dijo este prolífico narrador, había observado cómo un cuervo encendía una cerilla al tiempo que levantaba un ala para resguardarla del viento. He olvidado si el cuervo dio una calada a un cigarrillo, pero, en cualquier caso, los tres relatos en conjunto parecían establecer que mi compañero era un testimonio poco de fiar, aunque divertido. En palabras suaves, la hipótesis de que era un mentiroso (o un lunático, o un visionario que tenía alucinaciones, o que estaba investigando la credulidad de los catedráticos de Oxford) parecía más probable que la hipótesis alternativa de que sus tres relatos descabellados eran ciertos.

Como filósofo, tendría que haber conocido la prueba lógica expuesta por el gran filósofo escocés del siglo xviii David Hume, que para mí es irrefutable:

... ningún testimonio es suficiente para establecer un milagro, a menos que el testimonio sea tal que su falsedad fuera más milagrosa que el hecho que trata de establecer.

«De los milagros» (1748)

Seguiré hasta el final el propósito de Hume con respecto a uno de los milagros mejor certificados de todos los tiempos, uno que, se afirma, fue presenciado por 70.000 personas, y dentro de la presente generación. Se trata de la aparición de Nuestra Señora de Fátima. Cito a partir de un texto de una página de la Iglesia Católica Romana en la red mundial, que señala que, de las muchas apariciones marianas, ésta es insólita porque ha sido reconocida oficialmente por el Vaticano.

El 13 de octubre de 1917, había más de 70.000 personas reunidas en la Cova da Iria en Fátima, Portugal. Habían acudido allí para observar un milagro que había sido vaticinado por la Santísima Virgen a tres jóvenes visionarios: Lucía dos Santos y sus dos primos, Jacinta y Francisco Mario... Poco después del mediodía, Nuestra Señora se apareció a los tres visionarios. Cuando la Señora estaba a punto de irse, señaló al Sol. Lucía repitió emocionada el gesto, y la gente miró al cielo... Entonces un resuello de terror surgió de la muchedumbre, pues el Sol pareció desgajarse de los cielos y empezar a caer sobre la multitud... Justo cuando parecía que la bola de fuego iba a caer sobre ellos y destruirlos, el milagro cesó, y el Sol recuperó su lugar normal en el cielo, resplandeciendo de nuevo tan apaciblemente como siempre.

Si el milagro del Sol en movimiento lo hubiera visto sólo Lucía, la joven responsable del culto de Fátima en primera instancia, poca gente lo hubiera tomado en serio. Hubiera sido muy fácil que se tratara de una alucinación privada, o de una mentira evidentemente motivada. Son los 70.000 testimonios lo que impresiona. ¿Acaso podrían 70.000 personas ser víctimas simultáneamente de la misma alucinación? ¿Podrían 70.000 personas confabularse en la misma mentira? Y si nunca hubo 70.000 testigos, ¿podría el informador del acontecimiento haberse inventado tantos testimonios y salirse con la suya?

Apliquemos el criterio de Hume. Por un lado, nos piden que creamos en una alucinación colectiva, un efecto luminoso o una mentira masiva que implica a 70.000 personas. Hay que admitir que esto es improbable. Pero es *menos* improbable que la alternativa: que el Sol se movió realmente. El Sol que pendía sobre Fátima no era, después de todo, un sol privado; era el mismo Sol que caldeaba a los millones de personas restantes en el lado iluminado del planeta. Si el Sol se hubiera movido realmente, pero el acontecimiento lo hubieran visto únicamente los presentes en Fátima, tendría que haberse consumado un milagro todavía mayor: tendría que haberse escenificado una ilusión de *no* movimiento para todos los millones de testigos que no estaban en Fátima. Y esto supone ignorar el hecho de que, si el Sol se hubiera movido realmente a la velocidad reportada, el sistema solar se hubiera colapsado. No tenemos otra alternativa que seguir a Hume, elegir la

menos milagrosa de las alternativas posibles y concluir, en contra de la doctrina oficial del Vaticano, que el milagro de Fátima nunca sucedió. Además, no es en absoluto evidente que tengamos la obligación de explicar de qué manera se engañó a los 70.000 testigos presenciales.

El de Hume es un razonamiento acerca del balance de probabilidades. Si nos desplazamos al extremo distante de nuestro espectro de supuestos milagros, ¿existen algunas especulaciones o alegaciones que podamos descartar de manera absoluta y para siempre? Los físicos están de acuerdo en que si un inventor solicita una patente para una máquina de movimiento perpetuo, se puede rechazar con toda seguridad sin siquiera examinar su proyecto. Ello se debe a que cualquier máquina de movimiento perpetuo violaría las leyes de la termodinámica. Sir Arthur Eddington escribió:

Si alguien os dice que vuestra teoría preferida del universo no está de acuerdo con las ecuaciones de Maxweil... entonces tanto peor para las ecuaciones de Maxweil. Si resulta que la observación la contradice... bueno, estos experimentadores a veces hacen chapuzas. Pero si resulta que vuestra teoría va contra la segunda ley de la termodinámica, no puedo daros ninguna esperanza; no le queda más que hundirse en la humillación más profunda.

The Nature of the Physical World [La naturaleza del mundo físico] (1928)

Eddington se hecha hábilmente atrás para hacer concesiones abrumadoras en la primera parte del párrafo, de manera que su confianza en la segunda parte tenga más impacto. Pero si el lector todavía encuentra esto demasiado arrogante, si piensa que es una manera de buscarse el descrédito por obra de alguna tecnología futura hoy inimaginable, que así sea. No insistiré en el tema, pero me mantendré en mi postura más débil, con Hume, acerca de las probabilidades relativas. Fraude, ilusión, embuste, alucinación, error honesto o mentiras descaradas. .. la combinación suma una alternativa tan *probable* que siempre dudaré de las observaciones *casuales* o de los relatos de segunda mano que parecen sugerir el derrocamiento catastrófico de la ciencia actual. No hay duda de que la ciencia actual será derrocada, pero no por anéc-

dotas casuales o por actuaciones en televisión, sino por la investigación rigurosa, repetida, disecada y repetida de nuevo.

Volviendo a nuestro espectro de improbabilidades, las hadas se situarían entre la tía de Apthorpe y una máquina de movimiento perpetuo. Si mañana se descubrieran seres humanos minúsculos, del tamaño de mariposas, dotados de alas y portando ropas elegantes en miniatura, no se habrían violado grandes principios de la física.² No sería tan revolucionario como una máquina de movimiento perpetuo. En cambio, los biólogos tendrían mucho trabajo intentando encajar las hadas en su esquema clasificatorio actual. ¿De dónde surgieron en la evolución? Ni el registro fósil ni la zoología actual nos muestran primate alguno dotado de alas batientes, y sería ciertamente sorprendente que hubieran evolucionado de forma súbita y única en una especie lo bastante cercana a la nuestra para haber elegido (como demostraban claramente unas famosas fotografías trucadas que impresionaron al notoriamente crédulo Sir Arthur Conan Doyle) una vestimenta *á la mode* de los años veinte.

Criaturas hipotéticas del estilo del monstruo del Loch Ness, el yeti o «abominable hombre de las nieves» del Himalaya, o el dinosaurio del Congo, se encuentran en el espectro en algún lugar más probable que las hadas de Conan Doyie. Realmente, no hay razón por la que una población relictas de plesiosaurios no pueda sobrevivir en el Loch Ness. No puedo decirle al lector lo encantado que yo, y todos los zoólogos, estaríamos si así fuera; o si se encontrara un dinosaurio auténtico río Congo arriba. Un tal descubrimiento no violaría principios biológicos, y ciertamente tampoco principios físicos. La única razón para pensar que es improbable es que el último dinosaurio conocido vivió hace 65 millones de años, y 65 millones de años es un tiempo muy largo para que una población reproductora haya permanecido escondida y sin fosilizarse. En cuanto al yeti, la posibilidad de una población superviviente de *Homo erectus*, o de *Gigantopithecus*, me llenaría de júbilo, si pu-

2. Excepto el de escala. No es posible la existencia de seres humanos del tamaño indicado, por la misma razón que no es posible la existencia de ratones del tamaño de elefantes ni de elefantes del tamaño de ratones. Sostener el peso de un cuerpo grácil como el de un elfo o muy pesado como el de un gigante (y mantenerlo en sus funciones vitales normales) demanda adaptaciones biológicas que no pueden producir, como resultado final, un ser humano en miniatura o gigantesco. (*N. del T.*)

diera creerlo. Deseo de todo corazón pensar que la idea es más probable que las alternativas humanas: alucinaciones, cuentos de viajeros embusteros o interpretaciones honestas de huellas de animales en la nieve agrandadas por el sol.

El 30 de agosto de 1938, la escenificación radiofónica todavía recordada que Orson Welles hizo de *La guerra de los mundos*, de H.G. Wells, provocó el pánico generalizado e incluso se rumoreó que hubo algunos suicidios entre los oyentes que creyeron que su escena inicial era (como pretendía ser) un auténtico boletín de noticias que anunciaba una invasión marciana. Este relato suele aducirse como prueba de la ridícula credulidad del pueblo estadounidense, lo cual siempre me ha parecido bastante injusto, porque una invasión procedente del espacio exterior no es imposible y, si ocurriese, un repentino avance informativo por la radio sería la forma más probable que tendríamos de enterarnos.

Los relatos de platillos volantes tienen una popularidad perenne, pero la comunidad científica tiende a ser incrédula. ¿Por qué? No porque una visita procedente del espacio exterior sea imposible o improbable. La razón, de nuevo, es que las explicaciones alternativas de fraude o ilusión son más probables. De hecho, se han investigado a fondo numerosos relatos de platillos volantes, con un detallismo tedioso, por parte de equipos de investigadores concienzudos, tanto aficionados como profesionales. Una y otra vez, dichos testimonios se vienen abajo después de investigados. Con frecuencia resultan ser fraudes directos (lucrativos para quienes los producen, porque los editores pagan un buen dinero por tales historias, aunque estén pobremente documentadas, y con ellas pueden sostenerse industrias enteras de camisetas y jarras de recuerdo), o bien los «platillos» resultan ser aparatos aéreos, aviones o globos, vistos, o iluminados, desde un ángulo peculiar. A veces son espejismos u otros efectos luminosos, o avistamientos de aviones militares secretos.

Quizás un día nos visiten naves espaciales extraterrestres. Pero la probabilidad de que cualquier informe *concreto* sobre platillos volantes sea genuino es baja comparada con la probabilidad de las alternativas humanas de fraude o ilusión. En particular, lo que para mí resta verosimilitud a la mayoría de relatos de platillos volantes es el parecido casi cómico de los supuestos extraterrestres con los seres humanos ordinarios, o las últimas criaturas televisivas de ficción. Muchos de

ellos se parecen lo bastante a los machos humanos como para desear copular con hembras humanas, e incluso producir descendientes fértiles. Como Cari Sagan y otros han indicado, los alienígenas humanoides presa del furor de la abducción parecen ser el equivalente moderno de los demonios y brujas del siglo xvii.

Ayudados por el prestigio de la televisión y la prensa, la astrología, el paranormalismo y las visitas de extraterrestres gozan de una vía interna privilegiada hacia la conciencia popular. Si estoy en lo cierto en cuanto a que esta tendencia explota nuestro apetito natural y laudable de maravilla, tenemos aquí, paradójicamente, terreno para el estímulo. Debería confortarnos pensar que, puesto que el apetito de maravilla es alimentado de manera mucho más satisfactoria por la ciencia real, combatir la superstición tendría que ser un simple asunto de educación. Pero sospecho que existe una fuerza adicional operante que puede hacer las cosas más difíciles. Se trata de una fuerza psicológica interesante por derecho propio, y mi objetivo en lo que queda de capítulo será explicarla, porque comprenderla puede limitar su daño potencial. La fuerza adicional de la que estoy hablando es una credulidad normal y, desde muchos puntos de vista, deseable en los niños, y que, si nos descuidamos, puede continuar en la edad adulta, con resultados catastróficos. Empezaré con una anécdota personal.

Hace mucho tiempo, cuando mi hermana y yo éramos niños, nuestros padres y tíos nos gastaron una inocentada un 1 de abril, el día de todos los tontos. Anunciaron que habían redescubierto en el desván un pequeño avión que les había pertenecido cuando eran jóvenes, y que nos iban a montar en él para que diéramos una vuelta. Volar no era tan corriente entonces, y estábamos emocionados. La única condición era que debíamos llevar los ojos vendados. Nos llevaron cogidos de la mano, mientras nos reíamos nerviosos, tropezando y cayendo en el césped, y nos ataron a nuestros asientos. Oímos el ruido del motor al arrancar, hubo una sacudida y empezamos a ascender para efectuar un vuelo que fue agitado: baches, inclinaciones, bamboleos. De vez en cuando era evidente que pasábamos a través de las altas copas de los árboles, porque notábamos que las ramas nos rozaban levemente y un viento agradable corría sobre nuestras caras. Finalmente «aterrizamos». El viaje lleno de sacudidas terminó en *térria firma*, nos quitaron la venda y entre risas todo se reveló. No había ningún avión. No nos

habíamos movido del sitio. Habíamos estado simplemente sentados en un banco de jardín que nuestro padre y nuestro tío habían levantado y hecho girar y traquetrear para simular el movimiento aéreo. No había motor, sólo el ruidoso aspirador, y un ventilador para hacer soplar el viento sobre nuestras caras. Éstos, y las ramas de los árboles que nos rozaban, los habían manejado nuestra madre y nuestra tía, situadas junto al banco. Fue divertido mientras duró.

Como niños crédulos y confiados que éramos, habíamos esperado durante días el vuelo prometido antes de que tuviera lugar. Nunca se nos ocurrió preguntamos por qué teníamos que ir con los ojos vendados. ¿No hubiera sido natural preguntarse qué objeto tenía hacer un viaje divertido si no podíamos ver nada? Pero no, nuestros padres simplemente nos dijeron que, por alguna razón no especificada, era necesario taparnos los ojos; y así lo aceptamos. Puede que estuvieran recurriendo a la receta consagrada por el tiempo de «no echar a perder la sorpresa». Nunca nos preguntamos por qué nuestros mayores nos habían ocultado el secreto de que al menos uno de ellos debía ser un piloto experimentado; no creo que ni siquiera nos preguntáramos cuál de ellos era. Simplemente, no teníamos la disposición mental del escéptico. No teníamos miedo alguno de estrellarnos, tal era la fe que teníamos en nuestro padre y nuestro tío. Y cuando nos quitaron la venda y nos dimos cuenta de que habíamos sido objeto de una broma, aún así no dejamos de creer en Papá Noel, en el hada del diente, los ángeles, el cielo, los felices terrenos de caza y todos los demás cuentos que aquellos mismos mayores nos habían contado. Mi madre no recuerda el incidente que acabo de relatar, pero sí la ocasión en que su padre les gastó una broma idéntica a ella y su hermanita. Las instrucciones de su padre fueron incluso más descabelladas, porque su aeroplano «despegó» desde el interior de la casa, y a las niñas se les dijo que «agacharan la cabeza mientras salían volando por la ventana». Tanto mi madre como su hermana siguen cautivadas por aquella experiencia.

Los niños son crédulos por naturaleza. No podría ser de otra manera. Llegan a este mundo sin saber nada, y están rodeados de adultos que, en comparación, lo saben todo. Es absolutamente cierto que el fuego quema, que las serpientes muerden, que si andamos sin protección bajo el sol del mediodía nos cocemos hasta enrojecer y, como ahora sabemos, nos arriesgamos a un cáncer. Además, la otra manera,

aparentemente más científica, de obtener conocimientos útiles, el aprendizaje mediante ensayo y error, suele ser una mala idea, porque los errores son a veces demasiado costosos. Si nuestra madre nos dice que no vayamos nunca a chapotear al lago porque hay cocodrilos, no es bueno adoptar una actitud escéptica, científica y «adulta» y responderle: «Gracias, mamá, pero prefiero verificarlo experimentalmente». Con demasiada frecuencia, tales experimentos serían terminales. Es fácil ver por qué la selección natural (la supervivencia de los mejor adaptados) podría penalizar una disposición mental experimental y escéptica y favorecer la credulidad ingenua de los niños.

Pero esto tiene un inevitable y lamentable efecto secundario. Si nuestros padres nos dicen algo que no es cierto, también nos lo creemos. ¿Cómo podríamos evitarlo? Los niños no están equipados para conocer la diferencia entre una advertencia verdadera sobre un peligro genuino y una advertencia falsa de que nos quedaremos ciegos o iremos al infierno si «pecamos», por decir algo. Si los niños estuvieran equipados para ello, no necesitarían ninguna advertencia. La credulidad, como dispositivo de supervivencia, viene en un solo lote. Creemos lo que se nos dice, sea verdadero o falso. Los padres y demás parientes adultos saben tanto que es natural suponer que lo saben todo, y es natural creerles. De modo que cuando nos cuentan que Papá Noel baja por la chimenea, y que la fe «mueve montañas», también nos lo creemos.

Los niños son crédulos porque tienen que serlo para desempeñar su papel de «oruga» en la vida. Las mariposas tienen alas porque su papel es localizar miembros del sexo opuesto y diseminar su descendencia entre nuevas plantas comestibles. Tienen un apetito modesto, satisfecho por ocasionales libaciones de néctar. Ingieren poca proteína en comparación con las orugas, que constituyen el estadio de crecimiento en el ciclo biológico. En general, los animales en fase juvenil tienen que prepararse para convertirse en adultos reproductores. Las orugas están aquí para comer todo lo que puedan con el fin de transformarse en crisálidas, de las que saldrán los adultos reproductores alados. Por eso carecen de alas pero, en cambio, poseen robustas mandíbulas masticadoras y un apetito voraz e insaciable.

Los individuos juveniles humanos deben ser crédulos por razones parecidas. Son orugas de información. Están aquí para convertirse en adultos reproductores dentro de una sociedad refinada, basada en el co-

nocimiento; y la fuente principal de su dieta de información son sus mayores, sobre todo sus padres. Por lo mismo que las orugas poseen mandíbulas masticadoras comeas para ingerir la pulpa del repollo, los niños poseen ojos y oídos bien abiertos, y mentes receptivas y confiadas para absorber el lenguaje y otras formas de conocimiento. Son suctores del saber adulto. Mareas de datos, gigabytes de sabiduría, entran a raudales a través de los pórticos del cráneo infantil, y la mayor parte se origina en la cultura que han construido los padres y las generaciones de antepasados. Pero es importante no llevar demasiado lejos la analogía de la oruga. Los niños se transforman en adultos gradualmente y no de golpe como las orugas que se metamorfosean en mariposas.

Recuerdo que una vez, en Navidad, intenté entretener a una niña de seis años calculando con ella el tiempo que tardaría Papá Noel en descender por todas las chimeneas del mundo. Si la altura media de una chimenea es de 6 metros y existen, pongamos por caso, 100 millones de casas con niños, ¿con qué rapidez, me preguntaba yo en voz alta, tendría que bajar zumbando por cada chimenea para poder terminar su trabajo en el amanecer del día de Navidad? Apenas tendría tiempo de entrar de puntillas y sin hacer ruido en la habitación de cada niño, porque necesariamente tendría que romper la barrera del sonido. La niña comprendió y se dio cuenta de que había un problema, pero esto no la preocupó lo más mínimo. Dejó de lado el tema sin indagar más. Nunca pareció cruzar por su mente la posibilidad evidente de que sus padres le hubieran estado contando mentiras. Ella no lo habría dicho con estas palabras, pero la implicación era que, si las leyes de la física hacían imposible la hazaña de Papá Noel, tanto peor para las leyes de la física. Sus padres le habían dicho que bajaba por todas las chimeneas durante las pocas horas de la Nochebuena, y eso bas taba. Tenía que ser así porque papá y mamá lo habían dicho.

Pienso que la candidez confiada puede ser normal y saludable en un niño, pero puede convertirse en credulidad enfermiza y censurable en un adulto. Crecer y convertirse en adulto, en el sentido más pleno de la palabra, debería incluir el cultivo de un saludable escepticismo. La predisposición a dejarse engañar puede calificarse de infantil, porque es común (y defendible) en los niños. Sospecho que su persistencia en los adultos surge del deseo (en realidad, del anhelo vehemente) de las

seguridades y comodidades perdidas de la niñez. Este aspecto lo describió muy bien en 1986 Isaac Asimov, el gran escritor de ciencia ficción y divulgador científico: «Inspecciónese cada una de las muestras de pseudociencia y se encontrará una manta de seguridad, un pulgar que chupar, una falda que agarrar». La infancia es, para muchas personas, una Arcadia perdida, una especie de cielo, con sus certezas y sus seguridades, sus fantasías de volar al País de Nunca Jamás con Peter Pan, sus cuentos a la hora de ir a dormir, antes de vemos arrastrados hasta el País del Sueño en los brazos del Osito de Peluche. En retrospectiva, los años de la inocencia infantil pueden pasar demasiado deprisa. Quiero a mis padres porque me llevaron en un vuelo tan alto como el de un águila a través de las copas de los árboles; y por contarme las historias del Hada del Diente y de Papá Noel, de Merlín y sus hechizos, del Niño Jesús y los tres Reyes Magos. Todas estas historias enriquecen la niñez y, junto con muchas otras cosas, contribuyen a que la recordemos como una época fascinante.

El mundo de los adultos puede parecer un lugar frío y vacío, sin hadas ni Papá Noel, sin País de los Juguetes ni la Namia de los cuentos infantiles de C.S. Lewis, sin los felices terrenos de caza adonde van las mascotas que mueren, y sin ángeles (ni de la guarda ni de la variedad de jardín). Pero tampoco hay demonios, ni fuego del infierno, ni brujas malvadas, fantasmas, casas encantadas, posesión demoníaca, cocos ni ogros. Es cierto que ni el osito Teddy ni la muñeca Dolly están realmente vivos. Pero existen compañeros de cama adultos a los que asirse, cálidos, vivos, que hablan y piensan, y muchos de nosotros encontramos que éste es un tipo de amor más gratificante que la afección pueril por juguetes rellenos de paja, por blandos y mimosos que sean.

No crecer como es debido significa retener la calidad de «oruga» de la infancia (donde es una virtud) en la edad adulta (donde se convierte en un vicio). En la infancia nuestra credulidad nos es muy útil. Nos ayuda a llenar nuestro cráneo, de manera extraordinariamente rápida, con la sabiduría de nuestros padres y antepasados. Pero si no crecemos para salir de ella en la plenitud del tiempo, nuestra naturaleza de oruga nos convierte en un blanco fácil para astrólogos, médiums, gurús, evangelistas y charlatanes. El genio del niño humano, oruga mental extraordinaria, le sirve para empaparse de información e ideas, no para criticarlas. Si más tarde aparecen las facultades críticas será a pe-

sar de las inclinaciones de la niñez, y no debido a ellas. El papel secante del cerebro del niño es el plantel poco prometedor, la base sobre la cual posteriormente quizá podrá desarrollarse la actitud escéptica, como una planta de mostaza que pugna por crecer. Necesitamos sustituir la credulidad automática de la niñez por el escepticismo constructivo de la ciencia adulta.

Pero sospecho que hay un problema adicional. Nuestra visión del niño como oruga de información es demasiado simple. La programación de la credulidad del niño tiene una peculiaridad que resulta casi paradójica hasta que la comprendemos. Volvamos a nuestra imagen del niño que necesita absorber información de la generación previa lo más rápidamente posible. ¿Qué ocurre si dos adultos, por ejemplo nuestro padre y nuestra madre, nos facilitan opiniones contradictorias? ¿Qué ocurre si nuestra madre nos dice que todas las serpientes son mortíferas y no debemos acercarnos nunca a ellas, y al día siguiente nuestro padre nos dice que todas las serpientes son letales excepto las verdes, y que podemos tener una serpiente verde como mascota? Ambos ejemplos de consejos pueden ser buenos. El consejo materno tiene el efecto deseado de protegernos contra las serpientes, aunque la generalización no sea aplicable a las serpientes verdes. El consejo más discriminatorio del padre tiene el mismo efecto protector y es mejor en algunos aspectos, pero podría ser fatal si se trasladara, sin revisión, a un país lejano. En cualquier caso, para el niño pequeño la contradicción entre ambos consejos podría ser peligrosamente desconcertante. Los padres suelen hacer denodados esfuerzos para no contradecirse, y probablemente hacen bien. Pero al «diseñar» la credulidad, la selección natural habría tenido que introducir una manera de habérselas con los consejos contradictorios. Quizás una regla sencilla tal como «Cree cualquier historia que oigas primero» o «Cree a la madre antes que al padre, y al padre antes que a otros adultos de la población».

A veces el consejo de los padres advierte específicamente contra la credulidad hacia otros adultos de la población. He aquí un ejemplo de consejo que los padres tienen que dar a sus hijos: «Si cualquier adulto os pide que vayáis con él y os dice que es amigo de vuestros padres, no lo creáis, por amable que parezca e incluso (o especialmente) si os ofrece caramelos. Id sólo con un adulto que vosotros y vuestros padres ya conozcáis, o bien que lleve un uniforme de policía». (Reciente-

mente apareció en los periódicos ingleses una historia encantadora: la reina Elizabeth, la Reina Madre, que tiene 97 años, le dijo a su chófer que detuviera el coche cuando advirtió que una niña, que aparentemente se había perdido, estaba llorando. La anciana y amable dama salió para confortar a la niña, y se ofreció a llevarla a su casa. «No puedo», sollozó la niña, «no se me permite hablar con extraños».) Un niño tiene la obligación de ejercer, en determinadas circunstancias, lo opuesto a la credulidad: un tenaz apego a una afirmación previa de un adulto frente a una afirmación posterior contradictoria, por muy tentadoramente plausible que sea.

Así pues, los calificativos «ingenuo» y «crédulo» no son estrictamente aplicables a los niños. Las personas verdaderamente crédulas creen cualquier cosa que acaban de oír o leer, aunque contradiga lo que han oído o leído antes. La cualidad infantil que intento describir no es la pura ingenuidad, sino una combinación compleja de credulidad combinada con su opuesta: el tozudo mantenimiento de una creencia, una vez adquirida. Así, la receta completa es una credulidad temprana extrema seguida de un inmovilismo igualmente obstinado. Es fácil ver lo devastadora que puede ser esta combinación. Aquellos viejos jesuítas sabían lo que se hacían: «Dadme al niño durante sus siete primeros años, y os devolveré al hombre».

7 Destejiendo lo sobrenatural

... aunque no hay gran razón servidora que Ordene los oscuros misterios de las almas humanas Para formarse una idea clara...'

John Keats, «Sueño y poesía» (1817)

El eminente especialista en fertilidad Robert Winston imagina el siguiente anuncio puesto en el periódico por un médico farsante y sin escrúpulos, y dirigido a personas que quieren que su próximo hijo sea, pongamos por caso, un niño (el sexismo que subyace en esta conjetura no es mío; podemos encontrarlo en todo el mundo antiguo, y todavía hoy es incuestionable en muchos lugares): «Envíe 500 libras y conseguirá mi fórmula patentada para que su bebé sea un niño. Si no funciona le será devuelto todo su dinero». La garantía de devolución del dinero pretende infundir confianza en el método. En realidad, y puesto que aproximadamente la mitad de los recién nacidos es de sexo masculino, la treta sería un magnífico sistema para ganar pequeñas sumas de dinero. De hecho, el matasanos podría incluso ofrecer tranquilamente compensaciones de, por ejemplo, 250 libras por cada niña nacida, además de la garantía de devolución del dinero, y todavía conseguiría un beneficio sustancial a la larga.

Utilicé una ilustración parecida en una de mis conferencias de Navidad de la Institución Real, en 1991. Dije que tenía razones para creer que entre mi audiencia había un individuo con poderes psíquicos, capaz de influir en los sucesos por el mero poder de la mente, y que intentaría desenmascararlo. «Establezcamos primero», dije, «si esa persona se encuentra en la mitad derecha o en la mitad izquierda del salón

1. ... *though no great minist'ring reason sorts / Out the dark mysteries of human souls / To clear conceiving...*

de actos». Invité a todo el mundo a ponerse de pie mientras mi ayudante lanzaba una moneda al aire. Pedí a todos los presentes de la mitad izquierda del salón que «desearan» que la moneda cayera de cara. Todos los de la mitad derecha tenían que desear que fuera cruz. Evidentemente, uno de los bandos tenía que perder, y se les pidió que se sentaran. A continuación, los que quedaban de pie fueron divididos en dos mitades, una de las cuales «deseaba» que saliera cara y la otra cruz. De nuevo los perdedores se sentaron. Continué dividiendo por la mitad hasta que, inevitablemente, después de lanzar la moneda al aire siete u ocho veces, quedó un solo individuo de pie. «¡Un fuerte aplauso para nuestro paranormalista!» Tenía que ser una persona con poderes, porque había influido con éxito en la moneda ocho veces seguidas, ¿o no?

Si se hubieran televisado las conferencias en directo y no en diferido, la demostración podría haber sido aún más impresionante. Hubiera pedido a todos los telespectadores cuyo apellido empezara por cualquier letra anterior a la J que «desearan» cara, y al resto que deseara cruz. La mitad acertante habría sido dividida de nuevo por la mitad, y así sucesivamente. Les hubiera pedido a todos que anotaran el orden de sus «deseos». Con dos millones de telespectadores, se habrían necesitado unos 21 pasos para seleccionar a un solo individuo. Para mayor seguridad, me habría detenido un poco antes. En el paso decimooctavo, por ejemplo, habría invitado a los que todavía no hubieran sido eliminados a que me telefonaran. Con un poco de suerte, uno de ellos me habría llamado. Después habría invitado a este individuo a que leyera sus anotaciones (C, cara, y R, cruz): CRRRCCRCCCCRRRCCRR, que habrían coincidido con el registro oficial. De manera que este individuo concreto habría influido en 18 lanzamientos sucesivos de una moneda al aire. Todos boquiabiertos de admiración. Pero ¿admiración por qué? Aquí no hay más que pura suerte. No sé si alguien ha hecho este experimento. En realidad, el truco aquí es tan evidente que probablemente no enredaría a mucha gente. Pero ¿qué decir del siguiente?

Un hombre con poderes psíquicos sale por televisión gracias a un lucrativo contrato que su agente publicitario concertó en un almuerzo de trabajo. Mirando por diez millones de pantallas con ojos llameantes e hipnóticos (un buen trabajo de maquillaje e iluminación), nuestro vidente imaginario salmodia que siente una extraña relación espiritual,

una resonancia vibrante de energía cósmica, con determinados miembros de su audiencia. Éstos podrán saber quiénes son porque, en el mismo momento en que entona su conjuro místico, *sus relojes se detendrán*. Después de sólo una breve pausa, un teléfono de su mesa suena y una voz amplificadora anuncia en tono de asombro que su reloj de pulsera se paró a los pocos segundos de oír las palabras del clarividente. La persona que telefona añade que tenía la premonición de que esto iba a ocurrir incluso antes de que mirara el reloj, porque algo en los ojos encendidos de su héroe parecía hablar directamente a su alma y sintió las «vibraciones» de «energía». Mientras habla suena un segundo teléfono. Otro reloj de pulsera que se ha detenido.

El reloj de péndulo del abuelo de un tercer comunicante se detuvo también, ¡lo que a buen seguro es una hazaña mayor que detener un pequeño reloj cuyo delicado muelle volante debe ser, obviamente, más susceptible a las fuerzas psíquicas que el voluminoso péndulo del abuelo! El reloj de pulsera de otro telespectador se paró en realidad un poco *antes* de que el célebre místico hiciera su anuncio: ¿no es ésta una proeza todavía más impresionante de control psíquico? Y todavía hay otro reloj aún más impaciente: se detuvo todo un día antes, *en el mismo momento* en que su dueño miró la fotografía del famoso místico en el periódico. La audiencia del estudio se queda boquiabierto de admiración. Con toda certeza, éste es un poder psíquico que supera todo escepticismo, ¡porque tuvo lugar *todo un día antes!* «¡Hay algo más en el cielo y en la tierra, Hoció...»

Lo que debemos hacer es quedarnos menos boquiabierto y pensar más. Este capítulo trata de la manera de desmontar la fuerza de la coincidencia, sentándonos tranquilamente y calculando la probabilidad de que se hubiera dado igualmente. En el proceso descubriremos que desarmar coincidencias aparentemente sobrenaturales es más interesante que quedarse boquiabierto ante ellas.

A veces el cálculo es fácil. En un libro anterior revelé la combinación del candado de mi bicicleta. No tuve miedo de hacerlo porque, evidentemente, mis libros nunca serían leídos por el tipo de gente que robaría una bicicleta. Por desgracia, alguien la robó, y ahora tengo otro candado con otra combinación, 4167. Para mí este número es fácil de recordar: 41 está grabado en mi memoria como el código arbitrario para identificar mis ropas y zapatos en el internado; 67 es la edad a la

que me jubilaré. Es evidente que aquí no hay ninguna coincidencia interesante. Cualquiera que hubiera sido el número, habría repasado mi vida para encontrar una receta mnemónica y la habría encontrado. Pero, atención a lo que sigue. En el día en que escribo esto, he recibido de mi facultad de Oxford una carta que dice:

Toda persona autorizada a utilizar las fotocopadoras dispone de un código personal de acceso. Su nuevo número es el 4167.

Mi primer pensamiento ha sido que con toda probabilidad voy a perder este pedazo de papel (perdí enseguida su equivalente del año anterior), por lo que tenía que idear de inmediato una fórmula para grabarlo en mi memoria, algo similar al mnemónico que me permite recordar la combinación del candado de mi bicicleta. De modo que he mirado de nuevo el número de la carta y (parafraseando una línea entera de *The Black Cloud [La nube negra]*, la novela de ciencia ficción de Fred Hoy le) he visto cómo las cifras del pedazo de papel parecían agrandarse hasta un tamaño gigantesco:

4167

No necesitaba un nuevo mnemónico. El número era idéntico. Me he apresurado a contarle a mi mujer la sorprendente coincidencia, pero después de una reflexión más pausada me he dado cuenta de que no hay para tanto.

Es fácil calcular la probabilidad de que esto ocurra por puro azar. El primer dígito podría haber sido cualquiera entre 0 y 9. De modo que hay una posibilidad entre 10 de obtener un 4 y, por tanto, de que coincida con la combinación del candado de mi bicicleta. Para cada una de estas diez posibilidades, el segundo dígito podría haber sido cualquiera entre 0 y 9, de modo que de nuevo hay una posibilidad entre 10 de coincidencia con la segunda cifra de la combinación. Las posibilidades de que coincidan los dos primeros dígitos son, por lo tanto, una entre 100 y, siguiendo la lógica con los otros dos dígitos, las posibilidades de que coincidan las cuatro cifras de la combinación del candado son de una entre 10.000. Es este número tan grande lo que nos protege contra el robo.

La coincidencia es impresionante, pero ¿qué conclusión debemos extraer de ello? ¿Ha pasado algo misterioso y providencial? ¿Han estado actuando los ángeles de la guarda entre bastidores? ¿Se han deslizado las estrellas de la suerte hasta Urano? No. No hay razón para sospechar otra cosa que un simple accidente. El número de personas en el mundo es tan grande en comparación con 10.000 que alguien, en este mismo momento, debe estar experimentando una coincidencia al menos tan sorprendente como la mía. Simplemente, hoy me ha tocado a mí. Ni siquiera es una coincidencia añadida el que me tocara precisamente hoy, mientras escribo este capítulo. En realidad, había escrito un primer borrador hacía algunas semanas. Lo he reabierto después de advertir la coincidencia para insertar esta anécdota. Seguramente lo volveré a abrir muchas veces para revisarlo y pulirlo, y no eliminaré las referencias a «hoy»: cuando las incluí eran exactas. Este es otro procedimiento habitual para hinchar la cualidad impresionante de la coincidencia con objeto de conseguir una buena historia.

Podemos hacer un cálculo parecido para el gurú televisivo cuyo miasma psíquico parecía detener los relojes de la gente, pero tendremos que hacer uso de estimaciones en vez de cifras exactas. Para cualquier reloj existe cierta probabilidad, baja, de que se pare en un momento dado. No conozco su valor exacto, pero veamos cómo podríamos estimarla. Si consideramos sólo los relojes digitales, su pila se agota típicamente al cabo de un año. Esto quiere decir que, aproximadamente, un reloj digital se para una vez al año. Es presumible que los relojes mecánicos se detengan con mayor frecuencia, porque la gente se olvida de darles cuerda, y también es presumible que los relojes digitales se paren con menor frecuencia, porque mucha gente cambia la pila antes de que se haya agotado del todo. Pero es probable que ambos tipos de relojes se paren con la misma frecuencia por fallos de diversa especie. De modo que supondremos que es esperable que cualquier reloj se detenga alrededor de una vez al año. La precisión de nuestra estimación no importa demasiado; el principio sigue siendo el mismo.

Si el reloj de alguien se parara a las tres semanas del encantamiento, hasta el más crédulo preferiría atribuirlo al azar. Tenemos que decidir qué retraso máximo debe haber entre el anuncio del psíquico y la parada del reloj para que la audiencia considere que ambos hechos

son lo bastante simultáneos. Unos cinco minutos es una estimación segura, sobre todo si se piensa que el paranormalista puede hablar con cada uno de los televidentes que telefonan durante unos minutos, lo que hace que las llamadas sucesivas parezcan aproximadamente simultáneas. Hay 100.000 periodos de cinco minutos en un año, en números redondos. La probabilidad de que cualquier reloj (el mío, por ejemplo) se detenga en un periodo de cinco minutos especificado es aproximadamente 1 entre 100.000. Es una probabilidad muy baja, pero hay 10 millones de personas viendo el espectáculo. Aun suponiendo que sólo la mitad de ellas lleve reloj, podemos esperar que a 25 de ellas se les pare en un minuto dado. Si sólo la cuarta parte telefona al estudio, esto se traduce en 6 llamadas, más que suficiente para engañar a una audiencia ingenua. Especialmente si se añaden las llamadas de personas cuyo reloj se detuvo el día antes, o cuyo reloj no se paró pero sí lo hizo el reloj de péndulo del abuelo, o parientes afligidos de gente que ha muerto de un ataque cardíaco y telefonan para decir que su «reloj» se agotó, etcétera. Este tipo de coincidencia se celebra en la antigua canción «El reloj del abuelo», deliciosamente sentimental:

Noventa años sin flojear,
Tic, tac, tic, tac,
De su vida contando los segundos,
Tic, tac, tic, tac,
Se detuvo... de golpe... para no andar nunca más
Cuando el anciano murió.²

Richard Feynman, en una conferencia de 1963 publicada postumamente en 1998, nos cuenta que su primera mujer murió a las 9 horas y 22 minutos de la noche, y posteriormente se encontró con que el reloj de su habitación se había detenido exactamente a las 9.22 h. Los hay que se deleitarán con el aparente misterio de esta coincidencia y creerán que Feynman elimina algo precioso cuando nos da una explicación racional y simple del misterio. El reloj era viejo y caprichoso, y acostumbraba a pararse si se lo movía de la posición horizontal. El mismo

2. Ninety years without slumbering, / Tick, tock, tick, tock, / His life seconds numbering, / Tick, tock, tick, tock, / It stopped... short... never to go again / When the old man died.

Feynman lo reparaba con frecuencia. Cuando la señora Feynman murió, el deber de la enfermera era registrar el momento exacto de la muerte. Se acercó al reloj, pero éste se encontraba en un rincón oscuro. Para poder verlo, la enfermera lo cogió e inclinó su esfera hacia la luz... El reloj se detuvo. ¿Está Feynman realmente echando a perder algo hermoso cuando nos cuenta lo que seguramente es la verdadera, y muy sencilla, explicación? En mi opinión, no. Para mí, Feynman afirma la elegancia y la belleza de un universo ordenado en el que los relojes se detienen por razones, no para agujonear la fantasía sentimental de los seres humanos.

Llegados a este punto, quiero inventar un término técnico, y espero que el lector me perdone un acrónimo. PAQPC significa Población de Acontecimientos Que Parecerían Coincidentes. *Población* puede parecer una palabra rara, pero es el término estadístico correcto. En aras de la estética, renunciaré a las mayúsculas. El que el reloj de pulsera de alguien se detenga a los diez segundos del conjuro del psíquico pertenece evidentemente a la *paqpc*, pero lo mismo ocurre con muchos otros acontecimientos. Hablando estrictamente, la detención del reloj de pared del abuelo no debería incluirse. El psíquico no afirmó que podría detener relojes de pared del abuelo. Pero cuando el reloj de péndulo del abuelo de alguien se paró, esa persona telefoneó inmediatamente porque estaba aún más impresionada si cabe que si se hubiera parado su reloj de pulsera. Se fomenta la extraña idea equivocada de que el psíquico es incluso *más* poderoso, ¡puesto que ni siquiera se preocupó de mencionar que también podría detener relojes del abuelo! De forma similar, no dijo nada de relojes de pulsera que se detenían el día antes ni de «relojes» de abuelos que sufrían paros cardíacos.

La gente cree que estos acontecimientos no previstos pertenecen a la *paqpc*, y que sólo se explican por la actuación de fuerzas ocultas. Pero cuando se empieza a pensar así, la *paqpc* se hace realmente grande, y aquí reside la trampa. Si el reloj de alguien se detuvo exactamente 24 horas antes, no necesitará ser excesivamente crédulo para aceptar que este acontecimiento pertenece a la *paqpc*. Si se detuvo exactamente siete minutos antes del conjuro, esto podría impresionar a otros porque el siete es un antiguo número místico. Lo mismo vale, presumiblemente, para siete horas, siete días... Cuanto mayor es la *paqpc*, menos *debiera* impresionarnos la coincidencia. Una de las es-

tratagemas de un tramposo eficaz es hacer que la gente piense exactamente lo contrario.

Dicho sea de paso, he elegido deliberadamente un truco más impresionante para mi médium imaginario del que se hace realmente con relojes en la televisión. La proeza más familiar es *hacer funcionar* relojes que se han parado. Se invita al telespectador a que busque algún reloj estropeado y abandonado en un cajón o desván y que lo sostenga mientras el psíquico realiza algún encantamiento o efectúa algún movimiento hipnótico con los ojos. Lo que ocurre realmente es que el calor de la mano licúa aceite que se había coagulado y el reloj vuelve a andar, aunque sea brevemente. Aunque esto sólo represente una pequeña proporción de casos, si se multiplica por la multitudinaria audiencia se generará un número satisfactorio de llamadas telefónicas de espectadores asombrados. En realidad, como explica Nicholas Humphrey en su libro *Soul Searching [Buscando el alma]* (1995), un admirable desenmascaramiento del sobrenaturalismo, se ha demostrado que más de la mitad de los relojes estropeados se ponen en marcha, al menos momentáneamente, si se los sostiene en la mano.

He aquí otro ejemplo de coincidencia en el que es sencillo calcular las probabilidades. Lo utilizaremos para ver de qué modo las probabilidades alteran la *paqpc*. Tuve una novia cuya fecha de cumpleaños era la misma que la de mi novia anterior. Ella le comentó este hecho a un amigo suyo creyente en la astrología, quien me preguntó, triunfante, cómo podía yo justificar mi escepticismo ante la abrumadora evidencia de que el destino me había unido de forma sucesiva y no premeditada a dos mujeres sobre la base de sus «estrellas». De nuevo, pensemos en ello pausadamente. Es fácil calcular la probabilidad de que dos personas, elegidas enteramente al azar, cumplan años en la misma fecha. Hay 365 días en un año. Sea cual sea la fecha de nacimiento de la primera persona, la probabilidad de que la segunda cumpla años en la misma fecha es de 1 entre 365 (dejemos de lado los años bisiestos). Si consideramos parejas de mujeres que hayan sido amigas sucesivas de cualquier hombre, las posibilidades de que compartan la misma fecha de cumpleaños son de 1 entre 365. Si tomamos diez millones de hombres (menos que la población actual de Tokio o Ciudad de México), ¡esta coincidencia aparentemente sobrenatural les habrá ocurrido a más de 27.000 de ellos!

Veamos ahora cómo la coincidencia se hace menos impresionante a medida que aumenta la *paqpc*. Podríamos emparejar a la gente de muchas otras maneras y aun así detectar una coincidencia aparente. Dos novias sucesivas con el mismo apellido aunque no sean parientes, o dos socios comerciales con la misma fecha de cumpleaños, o dos vecinos de asiento en un avión que compartan la misma fecha de cumpleaños. En un Boeing 747 completamente ocupado (cerca de 400 plazas), las posibilidades de que al menos un par de vecinos tengan la misma fecha de aniversario son en realidad superiores al 50 por ciento. Por lo general no nos damos cuenta de ello, porque no solemos espiar por encima del hombro del vecino cuando rellenamos esos tediosos formularios de inmigración. Pero si lo hiciéramos, en la mayoría de vuelos alguien saldría murmurando oscuramente acerca de las fuerzas ocultas.

La coincidencia del cumpleaños suele formularse de una manera más teatral. Si en un salón hay sólo 23 personas, los matemáticos pueden demostrar que existe una probabilidad superior al 50 por ciento de que al menos dos de ellas tengan la misma fecha de cumpleaños. Dos lectores de un borrador previo de este libro me pidieron que justificara esta asombrosa afirmación. Es más fácil calcular la probabilidad de que *no* haya dos personas con la misma fecha de cumpleaños y restarla de 1. Olvidemos los años bisiestos porque complican más las cosas. Suponga el lector que apuesto a que, de las 23 personas que hay en la habitación, al menos dos tienen la misma fecha de cumpleaños. El lector debe apostar a que no habrá ningún cumpleaños compartido. Haremos el cálculo haciendo entrar en el salón a las 23 personas una detrás de otra. Si en algún momento se encuentra una coincidencia, yo gano y se acabó el juego. Si llegamos a las 23 personas y no ha habido ninguna coincidencia, el lector gana.

Cuando en el salón hay sólo una persona, a la que podemos llamar *A*, la probabilidad de «ninguna coincidencia hasta ahora» es trivialmente 1 (365 de 365 posibilidades). Supongamos que entra una segunda persona, *B*. La probabilidad de coincidencia es ahora de 1 entre 365, de manera que la probabilidad de «ninguna coincidencia hasta ahora» desciende a $364/365$. Añadamos ahora una tercera persona, *C*. Hay una posibilidad en 365 de que el cumpleaños de *C* coincida con el de *A*, y una posibilidad en 365 de que coincida con el de *B*, de modo

que la probabilidad de que el cumpleaños de *C* no coincida ni con el de *A* ni con el de *B* es de $363/365$ (no puede coincidir con ambos, porque ya sabemos que no hay coincidencia entre *A* y *B*). Para tener la probabilidad total de «ninguna coincidencia hasta ahora», hay que tomar el valor $363/365$ y multiplicarlo por la probabilidad de no coincidencia en la estimación anterior, en este caso $364/365$. El mismo razonamiento se aplica cuando se añade una cuarta persona, *D*. Ahora la probabilidad total de «ninguna coincidencia hasta ahora» es $364/365 \times 363/365 \times 362/365$. Y así sucesivamente hasta que las 23 personas hayan entrado en el salón. Cada persona que entra añade un nuevo término a la multiplicación para calcular la probabilidad de «ninguna coincidencia hasta ahora».

Si esta multiplicación se efectúa con 23 términos (hay que llegar hasta $343/365$), el resultado es de alrededor de 0,49. Ésta es la probabilidad de que no haya ninguna fecha de cumpleaños coincidente en el salón. La probabilidad de que al menos una pareja de individuos en un comité de 23 compartan la misma fecha de cumpleaños es, por lo tanto, del 51 por ciento. La intuición de la mayoría de personas las animaría a apostar en contra de tal coincidencia. Pero se equivocaría. Es este tipo de error intuitivo el que en general confunde nuestra evaluación de las coincidencias «sobrenaturales».

He aquí una coincidencia real para la que podemos tratar de estimar las probabilidades aproximadas, aunque es un poco más difícil. Una vez mi esposa compró para su madre un magnífico reloj antiguo con una esfera de color rosa. Cuando lo tuvo en casa y arrancó la etiqueta con el precio se sorprendió al encontrar, en la parte posterior del reloj, las iniciales de su madre, M.A.B. ¿Sobrenatural? ¿Misterioso? ¿Espeluznante? Arthur Koestler, el famoso novelista, habría encontrado ahí mucho material; y lo mismo cabe decir de C.G. Jung, el admirado psicólogo e inventor del «inconsciente colectivo», quien también creía que era posible mediante fuerzas psíquicas hacer que un cuchillo o las tapas de un libro explotaran espontáneamente con un fuerte estampido. Mi esposa, más sensata, pensó simplemente que la coincidencia de iniciales era especialmente conveniente y lo bastante graciosa para notificármela... y aquí estoy ahora, dándole a conocer a una audiencia mayor.

Así pues, ¿cuál es realmente la probabilidad en contra de una coin-

cidencia de esta magnitud? Podemos empezar calculándola de forma ingenua. Hay 26 letras en el alfabeto.³ Si nuestra madre posee tres iniciales y encontramos un reloj grabado con tres letras al azar, la probabilidad de que ambos grupos coincidan es de $1/26 \times 1/26 \times 1/26$, es decir, una posibilidad entre 17.576. Hay unos 55 millones de personas en Gran Bretaña. Si cada una de ellas comprara un reloj antiguo grabado, esperaríamos que más de 3000 de ellas quedaran boquiabiertas de asombro cuando descubrieran que el reloj ya llevaba las iniciales de su madre.

En realidad, la probabilidad es mucho mayor. Nuestro cálculo ingenuo asumió, incorrectamente, que cada letra tiene una probabilidad de $1/26$ de ser la inicial de algún nombre. Pero algunas letras, tales como *X* y *Z*, tienen una probabilidad menor. Otras, entre ellas *M*, *A* y *B*, son más comunes: nos hubiera sorprendido mucho más que las iniciales coincidentes hubieran sido *X*, *Q* y *Z*. Podemos mejorar nuestra estimación de la probabilidad muestreando la guía telefónica. Muestrear es una manera respetable de estimar algo que no podemos contar directamente. La guía telefónica de Londres es un buen lugar para muestrear porque es grande, y resulta que Londres es donde mi esposa compró el reloj y donde vivía su madre. La guía telefónica de Londres contiene unos 216.000 centímetros (es decir, 2,16 kilómetros) de columnas de nombres de ciudadanos particulares. De ellos, alrededor de 20.600 centímetros están dedicados a la *B*. Esto significa que alrededor del 9,5 por ciento de londinenses tienen un apellido que empieza por *B*,⁴ lo que es mucho más frecuente que $1/26$, o 3,8 por ciento.

Así, la probabilidad de que un londinense escogido al azar tenga un apellido que empiece por *B* es de alrededor de 0,095 (= 9,5 por ciento). ¿Y qué hay de las probabilidades correspondientes de que los nombres empiecen por *M* o *A*? Requeriría demasiado tiempo contar las iniciales de los nombres de toda la guía telefónica, y tampoco tendría sentido porque la guía misma es una muestra de la población. Lo más fácil es tomar una submuestra en la que las iniciales de los nombres se encuentren convenientemente ordenadas alfabéticamente. Esto es lo que

3. En el inglés, que carece de las letras *ch*, *lly* y *ñ* del castellano. (*N. del T.*)

4. Recuerde el lector que, por lo general, los ciudadanos ingleses (y de muchas otras nacionalidades) tienen un solo apellido, y dos o más nombres. (*N. del T.*)

ocurre con los listados *dentro* de un apellido cualquiera. Tomaré el apellido más común en Inglaterra (Smith) y contaré qué proporción de los Smith son M. Smith y qué proporción son A. Smith. Es razonable esperar que esto sea una buena representación de las probabilidades de las iniciales de los nombres de los londinenses en general. Resulta que hay algo más de 18 metros de columnas de Smith. De éstos, el 7,3 por ciento (136 centímetros) son M. Smith. Los A. Smith ocupan 192 centímetros de columna, lo que representa el 10,2 por ciento de todos los Smith.

Por lo tanto, si uno es londinense y tiene tres iniciales, las probabilidades de que éstas sean M.A.B., en este orden, son aproximadamente $0,102 \times 0,073 \times 0,095$, es decir, alrededor de 0,0007. Puesto que la población de Gran Bretaña es de 55 millones de personas, esto quiere decir que alrededor de 38.000 ingleses tienen las iniciales M.A.B. Pero esto sólo es cierto si todos los británicos tienen tres iniciales. Es evidente que no todos las tienen pero, hojeando de nuevo la guía telefónica, parece que la mayoría sí. Aun así, si adoptamos la hipótesis conservadora de que sólo la mitad de los habitantes de las islas Británicas tienen tres iniciales, todavía tenemos 19.000 británicos con iniciales idénticas a las de la madre de mi esposa. Cualquiera de ellos podría haber comprado aquel reloj y quedarse atónito por la coincidencia. Nuestro cálculo ha demostrado que no hay razón alguna para ello.

En realidad, si pensamos un poco más sobre la *paqpc*, encontraremos que tenemos incluso menos derecho a sorprendemos. M.A.B. eran las letras iniciales del nombre de soltera de la madre de mi esposa. Si sus iniciales de casada, M.A.W., hubieran estado grabadas en el reloj, la coincidencia habría parecido igualmente sorprendente. Los apellidos que empiezan por *W* son casi tan comunes en la guía telefónica como los que empiezan por *B*. Esta consideración duplica aproximadamente la *paqpc*, al duplicar el número de británicos que, para un cazador de coincidencias, tienen «las mismas iniciales» que mi suegra. Además, si alguien comprara un reloj y lo encontrara grabado no con las iniciales de su madre, sino con las suyas propias, podría considerar este hecho una coincidencia todavía mayor, y más digna de incluirse en la (cada vez mayor) *paqpc*.

El malogrado Arthur Koestler, como ya he dicho, era un gran entusiasta de las coincidencias. Entre los relatos que cuenta en *Las raíces*

del azar (1972) hay unos cuantos recopilados originalmente por su héroe, el biólogo austríaco Paúl Kammerer (famoso por haber publicado un experimento trucado en el que se pretendía demostrar la «herencia de caracteres adquiridos» en el sapo partero). Ésta es una típica historia de Kammerer, citada por Koestler:

El 18 de septiembre de 1916, mi esposa, mientras esperaba su turno en la consulta del doctor J. v. H. leyendo la revista *Die Kunst*, quedó impresionada por algunas reproducciones de cuadros de un pintor llamado Schwaibach, y tomó nota mentalmente de su nombre porque deseaba ver los originales. En aquel momento, la puerta se abrió y la recepcionista preguntó: «¿Está *Frau Schwalbach* aquí? La llaman al teléfono».

Probablemente no vale la pena intentar estimar la probabilidad de una tal coincidencia, pero al menos podemos anotar algunas de las cosas que necesitaríamos saber. «En aquel momento, la puerta se abrió» es un poco vago. ¿Se abrió la puerta un segundo después de que la señora tomara mentalmente nota del apellido Schwaibach, o 20 minutos después? ¿Cuan largo pudo haber sido el intervalo sin que la coincidencia dejara de causar sorpresa? Obviamente, la frecuencia del apellido Schwaibach es relevante: nos habría sorprendido menos si hubiera sido Schmidt o Strauss, y más si hubiera sido Twistieton-Wykeham-Fiennes o Knatchbull-Hugueson. Mi biblioteca local no tiene la guía telefónica de Viena, pero una rápida ojeada a otra guía telefónica germánica grande, la de Berlín, da como resultado media docena de Schwaibach: el apellido no es particularmente común, por lo tanto, y es comprensible que la señora quedara impresionada. Pero debemos meditar un poco más sobre el tamaño de la *paqqc*. Coincidencias similares pudieron haberles ocurrido a personas en las salas de espera de otros médicos; y en las salas de espera de dentistas, despachos gubernamentales y otros; y no sólo en Viena, sino en cualquier otro lugar. La cantidad que hay que tener presente es el número de *oportunidades* de coincidencia de las que se habría pensado que eran tan notables como la que realmente ocurrió.

Vayamos ahora a otro tipo de coincidencia, de la cual es aún más difícil saber cómo empezar a calcular su probabilidad. Considérese la

experiencia, citada a menudo, de soñar con un antiguo conocido por primera vez en años, y después recibir inesperadamente una carta suya al día siguiente; o bien enterarse de que murió la noche anterior; o de que fue su padre quien murió; o que, en vez de eso, su padre acertó una quiniela- ¿Advierte el lector cómo crece descontroladamente la *paqpc* cuando relajamos nuestra vigilancia?

Con frecuencia, estas anécdotas de coincidencias se recolectan de un campo muy amplio. Las columnas de cartas de los lectores de la prensa popular contienen cartas enviadas por personas concretas que no hubieran escrito si no les hubiera sucedido una coincidencia sorprendente. Para decidir hasta qué punto debemos sorprendernos, tenemos que conocer la tirada del periódico. Si es de 4 millones de ejemplares, sería sorprendente que *no* leyéramos cada día alguna coincidencia asombrosa, puesto que basta con que uno de esos 4 millones de lectores sea protagonista de una de tales coincidencias para que tengamos muchas oportunidades de que se publique en el diario. Es difícil calcular la probabilidad de una coincidencia determinada, como la muerte de un viejo amigo ya olvidado precisamente durante la noche en que soñamos con él. Pero, sea cual sea, a buen seguro es mucho mayor que una posibilidad entre 4 millones.

Así pues, no hay razón en realidad para que nos sorprendamos cuando leemos en el periódico acerca de una coincidencia sucedida a uno de los lectores, o a cualquiera en cualquier lugar del mundo. Este argumento es completamente válido, pero quizá no sea completamente satisfactorio. Podemos convenir en que, desde el punto de vista del lector de un periódico de amplia circulación, no tenemos ningún derecho a sorprendernos por una coincidencia sucedida a otro de los millones de lectores del mismo periódico y lo bastante inusual para que el afectado se moleste en escribir. Pero es mucho más difícil librarse de la sensación de asombro y estremecimiento de la espina dorsal cuando el protagonista es *uno mismo*. Esto no es sólo un prejuicio personal. Dicha sensación la tienen casi todas las personas que he conocido; si el lector pregunta a alguien al azar, es bastante probable que tenga al menos un magnífico relato de coincidencia sobrenatural que contarnos. A primera vista, esto socava la tesis escéptica de que los relatos de la prensa se han seleccionado a partir de un universo de millones de lectores, lo que supone un enorme acopio de oportunidades.

En realidad no la socava, por la siguiente razón. Cada uno de nosotros, aunque constituya una población de una sola persona, representa no obstante una población muy grande de *oportunidades* de coincidencia. Cada día que el lector o yo vivimos es una secuencia ininterrumpida de sucesos, o incidentes, cada uno de los cuales es una coincidencia en potencia. En estos momentos estoy mirando una fotografía que hay colgada en mi pared de un pez abisal con una cara extraña y fascinante. Es posible que, en este mismo momento, el teléfono suene y la persona que llama se identifique como un tal señor Fish («pez» en inglés). Estoy esperando...

El teléfono no ha sonado. Lo que quiero decir es que, con independencia de lo que estemos haciendo en un minuto dado del día, probablemente habrá algún otro suceso (una llamada telefónica, por ejemplo) que, caso de darse, sería considerado, retrospectivamente, una misteriosa coincidencia. Hay tantísimos minutos en la vida de cada individuo que sería sorprendente encontrar a alguien que *numca* haya experimentado una coincidencia asombrosa. Durante este minuto concreto, mis pensamientos han derivado hacia un compañero de escuela llamado Haviland (no recuerdo ni su nombre ni su aspecto), a quien no he visto ni recordado en 45 años. Si, en este momento, un avión fabricado por la compañía De Haviland pasara volando frente a mi ventana, tendría una coincidencia en mis manos. Tengo que decir que no ha aparecido ningún avión, pero ahora me he puesto a pensar en otra cosa, lo que da oportunidad a nuevas coincidencias. De esta forma las oportunidades de coincidencia se suceden a lo largo del día, cada día. Pero los casos negativos, los fracasos en la coincidencia, no son advertidos ni comunicados.

Nuestra propensión a ver un significado en la coincidencia, sea o no real, es parte de una tendencia más general a buscar pautas y patrones. Tal tendencia es laudable y útil. En el mundo, muchos sucesos y propiedades se ajustan realmente a pautas no aleatorias, y saber detectarlas es útil para nosotros y para los animales en general. La dificultad estriba en navegar entre la Escila de ver pautas donde sólo hay ruido y la Caribdis de no saber detectarlas cuando de hecho existen. La ciencia de la estadística consiste en gran parte en mantener este difícil rumbo. Pero mucho antes de que se formalizaran los métodos estadísticos, los seres humanos, y otros animales también, ya tenían una intuición esta-

dística razonablemente buena. Sin embargo, es fácil equivocarse tanto por defecto como por exceso.

He aquí algunos patrones estadísticos naturales que no son totalmente evidentes, y que los seres humanos no siempre han conocido.

PATRÓN VERDADERO	MOTIVOS QUE DIFICULTAN SU DETECCIÓN
El coito es seguido estadísticamente por el nacimiento unos 266 días después	El intervalo exacto varía alrededor del promedio de 266 días. El coito termina menos veces en concepción que lo contrario. El coito suele ser frecuente en cualquier caso, de modo que no es evidente que la concepción resulte de él y no de, por ejemplo, comer, lo que también es frecuente.
La concepción es relativamente probable en la mitad del ciclo de la mujer, y relativamente improbable cerca de la menstruación	Véase arriba. Además, las mujeres que no menstrúan no conciben. Ésta es una correlación espúrea que se entromete y que incluso, a una mente ingenua, le sugiere lo contrario de la verdad.
Fumar produce cáncer de pulmón	Muchísimas personas que fuman no contraen cáncer de pulmón. Hay muchas personas que contraen cáncer de pulmón y que no han fumado nunca.
En una época de peste bubónica, la proximidad a las ratas, y especialmente a sus pulgas, tiende a producir infección	En cualquier caso, hay muchísimas ratas y pulgas. Ratas y pulgas están asociadas a tantas otras cosas, como la suciedad y el «mal aire», que es difícil saber cuál de los muchos factores correlacionados es el importante. Es decir, de nuevo hay correlaciones espúreas que obstaculizan el camino.

He aquí ahora algunos falsos patrones que los seres humanos han pensado, erróneamente, que detectaban.

MOTIVOS POR LOS QUE ES FÁCIL CAER EN EL ENGAÑO

PATRÓN FALSO

Una sequía puede combatirse con una danza de la lluvia (o con un sacrificio humano, o bien rociando los riñones de un hurón con sangre de abra, o cualquier costumbre arbitraria que prescriba la teología concreta)

En ocasiones, la lluvia puede seguir a una danza de la lluvia (o cualquier otro ritual), y estos raros golpes de suerte se fijan en la memoria. Cuando la danza de la lluvia, pongamos por caso, no es seguida por la lluvia, se supone que algún detalle no funcionó bien en la ceremonia, o bien que los dioses están enfadados por alguna otra razón: siempre es fácil encontrar una excusa lo bastante plausible.

Los cometas y otros acontecimientos astronómicos auguran crisis en los asuntos humanos

Véase arriba. Asimismo, los astrólogos están interesados en fomentar el mito, del mismo modo que los sacerdotes y los hechiceros están interesados en fomentar los mitos acerca de las danzas de la lluvia y los riñones de los hurones.

Después de una racha de mala suerte, la buena suerte se hace más probable

Si la mala suerte persiste, suponemos que la racha de mala suerte todavía no ha terminado, y esperamos con más ansia su final. Si la mala suerte cesa, se considera que la profecía se ha cumplido. En nuestro subconsciente *definimos* una «racha» de mala suerte en términos de su final. Por lo tanto, es evidente que debe estar seguida de buena suerte.

No somos los únicos animales que buscan pautas no aleatorias en la naturaleza, y tampoco somos los únicos animales que cometen equivocaciones del tipo que podríamos denominar supersticiosas. Ambos hechos se demuestran nítidamente mediante una caja de Skinner, un aparato ideado por el famoso psicólogo norteamericano B.F. Skinner. Una caja de Skinner es un dispositivo sencillo pero versátil para estudiar la conducta de un animal, por lo general una rata o una paloma. Es una caja con uno o varios interruptores embutidos en una pared que la paloma (por ejemplo) puede accionar picoteando, más un aparato que ofrece alimento (u otra recompensa) accionado eléctricamente. Ambos están conectados de manera que el picoteo por parte de la paloma tiene una determinada influencia en el aparato dispensador de comida. En el caso más sencillo, cada vez que la paloma picotea la tecla obtiene comida. Las palomas aprenden rápidamente la tarea. Lo mismo ocurre con las ratas y con los cerdos (éstos requieren cajas de Skinner ampliadas y reforzadas).

Nosotros sabemos que la conexión causal entre la tecla y la comida la proporciona un aparato eléctrico, pero la paloma no lo sabe. Para ella, el picoteo de una tecla es comparable a una danza de la lluvia. Además, la conexión puede ser muy lábil, de tipo estadístico. El aparato puede prepararse para que sólo recompense uno de cada 10 picoteos, en sentido literal o en sentido estadístico. En este último caso se recompensa uno de cada 10 picotazos *por término medio*, pero el número de picotazos requerido para cada recompensa concreta se determina al azar. También puede haber un reloj que determine que una décima parte del tiempo, en promedio, un picotazo tendrá premio, pero de manera que sea imposible decidir *qué* décima parte del tiempo. Palomas y ratas aprenden a apretar las teclas aun cuando sólo una proporción muy pequeña de picotazos tiene premio y hay que ser un buen estadístico para detectar la relación causa-efecto. Un hecho interesante es que los hábitos aprendidos cuando los picotazos se premian sólo ocasionalmente son más duraderos que cuando todos los picotazos tienen recompensa; en este último caso la paloma se desanima rápidamente cuando se desconecta el mecanismo de recompensa. Intuitivamente esto tiene sentido, si uno piensa en ello.

Así pues, palomas y ratas son bastante competentes a la hora de identificar nuevas pautas estadísticas en su mundo. Es presumible que

esta capacidad les sea tan útil en la naturaleza como en la caja de Skinner. El mundo exterior es como una gran caja de Skinner, rica en pautas y patrones complicados. Las acciones de un animal salvaje suelen estar seguidas de recompensas, castigos u otros sucesos importantes. Con frecuencia, la relación entre causa y efecto no es absoluta, sino estadística. Si un zarapito sondea el fango con su pico largo y curvado hay cierta probabilidad de que encuentre un gusano. La relación entre eventos de sondeo y eventos de gusano es estadística, pero real. En tomo a la teoría de la estrategia alimentaria óptima ha crecido toda una escuela de investigación. Las aves silvestres demuestran unas capacidades bastante refinadas de evaluación estadística de la riqueza relativa de distintas áreas, y cambian de residencia en consecuencia.

Volviendo al laboratorio, Skinner fundó una gran escuela de investigación que utilizaba cajas de Skinner para toda clase de experimentos. Después, en 1948, ensayó una ingeniosa variante de la técnica estándar. Lo que hizo fue cortar del todo la conexión causal entre comportamiento y recompensa. Para ello preparó el aparato para «recompensar» a la paloma de tiempo en tiempo, *con independencia de lo que el ave hiciera*. Todo lo que tenían que hacer las aves era sentarse y esperar el premio. Pero no es esto lo que hicieron. En lugar de ello, en seis casos de cada ocho desarrollaron (de la misma forma en que aprendían un hábito recompensado) lo que Skinner llamó «conducta supersticiosa». La naturaleza de esta conducta variaba de una paloma a otra. Un ave giraba en redondo como una peonza, dando dos o tres vueltas en sentido contrario a las agujas del reloj, entre «recompensas». Otra paloma se lanzaba repetidamente de cabeza contra uno de los rincones superiores de la caja. Una tercera ave sacudía la cabeza como si levantara con ella una cortina invisible. Dos aves desarrollaron de manera independiente un «balanceo pendular» de la cabeza y el cuerpo. Incidentalmente, este último hábito debía de parecerse a la danza de cortejo de algunas aves del paraíso. Skinner utilizó el término superstición porque las aves se comportaban como si pensarán que su movimiento reiterado tenía una influencia causal sobre el mecanismo de recompensa, cuando en realidad no era así. Era el equivalente palomar de una danza de la lluvia.

Una vez establecido, un hábito supersticioso podía persistir durante horas, mucho después de que el mecanismo de recompensa hubiera

sido desconectado. Sin embargo, la forma de los hábitos no permanecía inalterable, sino que derivaba como las improvisaciones progresivas de un organista. En un caso típico, el hábito supersticioso de la paloma empezaba como un brusco movimiento de la cabeza hacia la izquierda. A medida que pasaba el tiempo, los movimientos se hacían más enérgicos. Al final, todo el cuerpo se movía en la misma dirección, y las patas daban un paso o dos. Después de muchas horas de «deriva topográfica», este movimiento de pasos hacia la izquierda se convirtió en el rasgo predominante del hábito. Los hábitos supersticiosos en sí pueden haber derivado del repertorio natural de la especie, pero sigue siendo correcto afirmar que su ejecución repetida en este contexto es una conducta antinatural.

Las palomas supersticiosas de Skinner estaban actuando como estadísticos, pero de la peor especie. Estaban atentas a cualquier posible conexión entre los sucesos de su mundo, en especial entre recompensas deseadas y acciones ejercibles. Un hábito, como el de introducir la cabeza en un ángulo superior de la caja, se iniciaba a partir de una acción casual realizada un momento antes de que el mecanismo de recompensa entrara en acción con un chasquido. Es bastante comprensible que el ave elaborara la hipótesis tentativa de que ambos sucesos estaban conectados, de modo que volvía a introducir la cabeza en el rincón. La suerte hacía que el mecanismo temporizador de la caja de Skinner premiase la acción de nuevo. Si el ave hubiera intentado el experimento de *no* introducir la cabeza en el rincón, habría descubierto que la recompensa llegaba de todas formas. Pero para que se le ocurriera un experimento semejante tendría que haber sido un estadístico mejor y más escéptico que muchos de nosotros, los seres humanos.

Skinner compara estas conductas con las de los jugadores humanos que desarrollan pequeños «tics» cuando juegan a cartas. Este tipo de comportamiento es también un espectáculo familiar en las boleras. Una vez la bola ha abandonado la mano del jugador, no hay nada más que éste pueda hacer para animarla a moverse hacia su objetivo. No obstante, los jugadores expertos casi siempre corretean tras su bola, con frecuencia todavía en posición agachada, girando y volteando el cuerpo como si quisieran impartir instrucciones desesperadas a la bola ahora indiferente, a veces dirigiéndole fútiles palabras de ánimo. Un «bandido manco» de Las Vegas, máquina tragaperras con palanca, no

es más que una caja de Skinner humana. Aquí el acto de «picotear la tecla» se sustituye por la introducción de una moneda en la ranura antes de accionar la palanca. Realmente es un juego de tontos, porque se sabe que las posibilidades están claramente a favor del casino (¿de qué otro modo pagaría éste sus enormes facturas de electricidad?). El que un tirón de la palanca dé o no dinero está determinado por el azar. Es una receta perfecta para los hábitos supersticiosos. No es de extrañar, pues, que los adictos al juego en Las Vegas exhiban conductas que recuerdan mucho a las palomas supersticiosas de Skinner. Algunos hablan a la máquina; otros le hacen señas raras con los dedos, o la golpean, o le dan palmaditas. Una vez le dieron una palmadita y ganaron el premio gordo, y nunca lo han olvidado. He observado conductas similares en adictos a los ordenadores, como golpear con los nudillos la terminal ante la falta de respuesta de un servidor lento.

Mi informante sobre Las Vegas ha hecho también un estudio informal de las apuestas en las carreras de caballos de Londres. Según me cuenta, hay un jugador que, tras depositar su apuesta, suele ir corriendo hasta cierta baldosa del suelo, sobre la que se mantiene con un solo pie mientras observa la carrera de caballos en el televisor del corredor de apuestas. Es presumible que alguna vez ganara mientras se encontraba sobre esta baldosa y concibiera la idea de que había una relación causal. Ahora bien, si alguna otra persona se encuentra sobre «su» baldosa de la suerte (hay quienes se sitúan en ella deliberadamente, quizá para secuestrar un poco de su «suerte» o sólo para fastidiarlo), entonces baila a su alrededor, intentando desesperadamente poner un pie en la baldosa antes de que termine la carrera. Otros jugadores se niegan a cambiarse de camisa o a cortarse el pelo mientras están «en racha». En cambio, un apostador irlandés que tenía una bonita melena se afeitó completamente la cabeza en un esfuerzo desesperado por cambiar su suerte. Su hipótesis era que estaba teniendo una suerte pésima en los caballos y que tenía mucho pelo. Quizás ambas cosas estaban conectadas de alguna manera. Antes de que nos sintamos demasiado superiores, recordemos que a muchos de nosotros nos hicieron creer que la fortuna de Sansón cambió completamente después de que Dalila le cortara el cabello.

¿Cómo podemos saber qué pautas aparentes son genuinas y cuáles son aleatorias y carecen de sentido? Hay métodos para ello, y pertene-

cen a la ciencia de la estadística y el diseño experimental. Quiero dedicar un poco más de tiempo a explicar algunos de los principios de la estadística, aunque sin entrar en detalles. La estadística puede considerarse en gran medida como el arte de distinguir patrones dentro de la aleatoriedad. Aleatoriedad *significa* ausencia de patrón. Hay varias maneras de explicar las ideas de aleatoriedad y patrón. Supongamos que afirmo que puedo distinguir la escritura de los escolares de uno y otro sexo. Si estoy en lo cierto, esto tendría que significar que existe un patrón que relaciona el sexo con la caligrafía. Un escéptico podría dudarlo, aceptando que la escritura varía de una persona a otra pero negando que exista una pauta ligada al sexo en esta variación. ¿Cómo puede el lector decidir si mi afirmación es cierta o lo es la del escéptico? No vale aceptar simplemente mi palabra. Al igual que un supersticioso jugador de Las Vegas, yo podría haber confundido fácilmente una racha de suerte con una conexión real y repetible. En cualquier caso, el lector tiene todo el derecho de reclamar pruebas. ¿Qué evidencia debería satisfacerle? La respuesta es una que se registre públicamente y se analice de forma adecuada.

Sea como fuere, mi afirmación es sólo estadística. No sostengo (en este ejemplo hipotético; en realidad no afirmo nada) que puedo juzgar de manera infalible el sexo del autor de un fragmento dado de escritura. Lo que digo es que, entre la gran variación existente dentro de la escritura, algunos componentes de dicha variación se correlacionan con el sexo. Por lo tanto, aunque cometeré frecuentes errores, si se me facilitan, pongamos por caso, 100 muestras de caligrafía, podré separarlas entre masculinas y femeninas con más acierto de lo que se conseguiría por puro azar. De ahí se sigue que, para valorar mi afirmación, el lector tendrá que calcular la probabilidad de que se pueda obtener un resultado dado por puro azar. De nuevo, se trata de un ejercicio de cálculo de posibilidades de coincidencia.

Antes de llegar a la estadística, el lector deberá tomar algunas precauciones a la hora de diseñar el experimento. El patrón (la no aleatoriedad que buscamos) es uno que relaciona el sexo con la caligrafía. Es importante no confundir el tema con variables ajenas. Las muestras de escritura que el lector me facilite no deben ser, por ejemplo, cartas personales. Para mí sería demasiado fácil adivinar el sexo del escritor a partir del contenido de la carta en lugar de la escritura. No elija el lec-

tor todas las chicas de una misma escuela y todos los chicos de otra. Los alumnos de una escuela pueden compartir aspectos de su escritura, al haber aprendido unos de otros o de un profesor. Ello podría producir diferencias reales en la escritura, quizás incluso interesantes, que representarían diferencias ligadas a la escuela más que al sexo. Tampoco debe pedirse a los niños que escriban un fragmento de un libro favorito. A mí me influiría la elección de *Belleza negra*, la historia del caballo, o *Biggles*, las hazañas de un aviador (los lectores cuya cultura infantil sea distinta de la mía podrán sustituir estos ejemplos por otros propios).

Evidentemente, es importante que los niños sean todos desconocidos para mí, de lo contrario yo podría reconocer su escritura individual y, por ende, su sexo. Los textos deben ser anónimos, pero tiene que haber algún método para saber a quién pertenece cada muestra. El lector puede asignar códigos secretos a los textos para uso personal, pero deberá ser cuidadoso a la hora de elegirlos. No vale poner una marca verde en los folios de los niños y una marca amarilla en los de las niñas; ciertamente yo no sabría quién es quién, pero adivinaría que el amarillo denota un sexo y el verde otro, y esto sería de mucha ayuda. Sería una buena idea adjudicar a cada folio un código numérico. Pero no atribuya el lector los números 1 a 10 a los chicos y los números 11 a 20 a las chicas; esto sería exactamente lo mismo que las marcas amarillas y verdes. Como asignar números impares a los chicos y pares a las chicas. Lo mejor es que asigne a cada folio un número *aleatorio* y mantenga la lista de códigos escondida donde yo no pueda encontrarla. Este diseño experimental se conoce como «doble ciego» en la bibliografía sobre ensayos médicos.

Supongamos que se han tomado todas estas precauciones y que el lector ha reunido 20 muestras anónimas de escritura, entremezcladas aleatoriamente. Yo hojeo los papeles y los separo en dos montones, uno para supuestos chicos y otro para supuestas chicas. Puede que tenga algunos «no lo sé», pero supongamos que en estos casos el lector me obliga a decidirme por una u otra posibilidad. Al final del experimento he hecho dos montones y el lector los examina para ver mi grado de acierto.

Y ahora, la estadística. Es de esperar que yo acierte con cierta frecuencia aunque haya estado conjeturando puramente al azar. Pero ¿con

qué frecuencia? Si mi afirmación de que soy capaz de sexar la escritura es injustificada, nú tasa de aciertos no será mayor que la de alguien que decide tirando una moneda al aire. La cuestión es si mis resultados son lo bastante distintos de los de alguien que tira una moneda al aire. He aquí cómo empezar a contestar la pregunta.

Pensemos en todos los resultados *posibles* de mi clasificación de los 20 escritores según su sexo. Hagamos una lista por orden de grado de acierto, empezando por las 20 respuestas correctas y terminando por un resultado completamente aleatorio (dar 20 respuestas equivocadas es un resultado casi tan sorprendente como acertarlas todas, porque demuestra que puedo discriminar los sexos, aunque invierta perversamente el signo). A continuación, examinemos mi resultado *real* y calculemos el porcentaje de todas las clasificaciones posibles que habrían sido tan acertadas o más que la mía. He aquí como evaluar todas las clasificaciones posibles. En primer lugar, adviértase que sólo hay una manera de acertar al 100 por cien, y sólo una manera de equivocarse al 100 por cien, pero que hay muchas maneras de acertar al 50 por cien. Uno puede acertar con el primer folio, equivocarse con el segundo, equivocarse con el tercero, acertar con el cuarto... Hay un número algo menor de maneras de acertar al 60 por ciento, y todavía menor de acertar al 70 por ciento, y así sucesivamente. El número de maneras de cometer una sola equivocación es lo bastante bajo para que podamos listarlas todas: el error pudo haberse cometido en el primer escrito, o en el segundo, o en el tercero... o en el vigésimo. Es decir, hay exactamente 20 maneras de cometer un solo error. Es más tedioso listar todas las maneras de cometer dos equivocaciones, pero podemos calcularlas con relativa facilidad: son 190. Es más arduo todavía contar las maneras posibles de cometer tres errores, pero también puede hacerse. Y así sucesivamente.

Supongamos, en este experimento hipotético, que he cometido dos errores. Queremos saber lo buena que fue mi puntuación en relación al espectro de resultados posibles. Lo que necesitamos saber es cuántos resultados posibles son tan buenos o mejores que el mío. Los que son tan buenos como el mío son 190. Los mejores son 20 (una equivocación) más 1 (acierto total). Así, el número de resultados posibles tan buenos o mejores que el mío es de 211. Es importante añadir los resultados *mejores*, porque también pertenecen a la *paqpc*, junto con los 190 resultados comparables al mío.

Tenemos que comparar 211 con el número total de maneras en que se podrían haber clasificado los 20 escritos lanzando una moneda al aire. Esto no es difícil de calcular. El primer folio podía ser de un chico o de una chica: esto son dos posibilidades. El segundo folio podía ser asimismo de un chico o de una chica. Así, por cada una de las dos posibilidades del primer texto, habría dos posibilidades para el segundo. Esto es $2 \times 2 = 4$ posibilidades para los dos primeros folios. Las posibilidades para los tres primeros folios son $2 \times 2 \times 2 = 8$; y las maneras posibles de clasificar los 20 textos son $2 \times 2 \times 2 \dots 20$ veces, o 2 elevado a 20. Esto es un número muy grande: 1.048.576.

Así, de todas las maneras posibles de clasificar los textos, la proporción de las que son tan buenas o mejores que la mía es 211 dividido por 1.048.576, que es aproximadamente 0,0002, es decir, un 0,02 por ciento. En otras palabras, si 10.000 personas clasificaran los textos lanzando monedas al aire, esperaríamos que sólo dos de ellos tuvieran una puntuación tan buena como la mía. Ello significa que mi puntuación es impresionante y que, si yo me desenvolviera así de bien, esto sería una evidencia fuerte de que chicos y chicas difieren sistemáticamente en su caligrafía. Insisto en que todo esto es hipotético. Hasta donde yo sé, no poseo esta capacidad de sexar la escritura. Debo añadir que, aunque existieran pruebas de una diferencia sexual en la escritura, ello no diría nada sobre si la diferencia es innata o aprendida. La evidencia, al menos si procediera del tipo de experimento que se acaba de describir, sería igualmente compatible con la idea de que a las niñas se les enseña sistemáticamente una caligrafía diferente que a los niños, quizá con un puño más «de señorita» y menos «agresivo».

Acabamos de realizar lo que técnicamente se denomina prueba de significación estadística. Hemos razonado a partir de primeros principios, lo que resulta bastante tedioso. En la práctica, los investigadores pueden utilizar tablas de probabilidades y distribuciones calculadas previamente. Por lo tanto, no tenemos que poner por escrito literalmente todas las posibilidades. Pero la teoría subyacente, la base sobre la que se calculan las tablas, depende, en esencia, del mismo procedimiento fundamental. Tómense los resultados que *podrían* haberse obtenido y distribuyanse repetidamente al azar. Obsérvese el resultado *real* y mídase lo extremo que es dentro del espectro de todos los resultados posibles.

Adviértase que una prueba de significación estadística no prueba nada de manera concluyente. No puede descartarse la suerte como generadora del resultado que observamos. Lo mejor que puede hacer es establecer cuánta suerte se necesita para obtener al azar el resultado observado. En nuestro ejemplo hipotético, sólo dos de cada 10.000 adivinadores aleatorios habrían igualado mi grado de acierto. Cuando decimos que un efecto es estadísticamente significativo, tenemos que especificar un valor p que es la probabilidad de que un proceso puramente aleatorio hubiera generado un resultado comparable al obtenido. Un valor de p de 2 entre 10.000 es impresionante, pero todavía es posible que no haya ningún patrón genuino. La belleza de efectuar una prueba estadística adecuada es que sabemos *cuan* probable es que el patrón detectado sea ilusorio.

Por convención, los científicos se dejan convencer por valores de p de 1 entre 100 o incluso de 1 entre 20, que son mucho menos impresionantes que 2 entre 10.000. El valor de p que se acepte dependerá de lo importante que sea el resultado y de qué decisiones se seguirán de él. Si todo lo que se está intentando decidir es si vale la pena repetir el experimento con una muestra mayor, un valor de p de 0,05 (es decir, de 1 entre 20) es bastante aceptable. Aunque haya 1 posibilidad entre 20 de que nuestro resultado interesante sea producto de la casualidad, no hay mucho en juego: el error no es costoso. Si la decisión es un asunto de vida o muerte, como en algunas investigaciones médicas, habrá que elegir un valor de p mucho menor. Lo mismo se aplica a experimentos que pretenden demostrar resultados muy controvertidos, como la telepatía o los efectos «paranormales».

Como vimos brevemente en relación a la identificación por el ADN, los estadísticos distinguen entre falsos positivos y falsos negativos, que a veces se denominan errores de tipo 1 y de tipo 2, respectivamente. Un error de tipo 2, o falso negativo, consiste en no detectar un efecto realmente existente. Un error de tipo 1, o falso positivo, es lo opuesto: llegar a la conclusión de que realmente hay algo, cuando de hecho no hay más que aleatoriedad. El valor de p es la medida de la probabilidad de un error de tipo 1. El juicio estadístico significa navegar manteniendo un rumbo intermedio entre ambos tipos de error. Existe un error de tipo 3, en el que la mente se queda en blanco cada vez que uno intenta recordar cuál es el error de tipo 1 y cuál el de

tipo 2. Después de toda una vida usándolos, todavía tengo que consultarlo con frecuencia. Dicho sea de paso, también acostumbro a cometer errores aritméticos. En la práctica, nunca se me ocurriría efectuar una prueba estadística a partir de primeros principios, como hice en el ejemplo hipotético de la caligrafía. Siempre consulto en una tabla que algún otro (preferiblemente un ordenador) haya calculado.

El error de las palomas supersticiosas de Skinner pertenecería a la clase de los falsos positivos. En su mundo no había ninguna pauta que conectara realmente sus acciones con el mecanismo de recompensa. Pero se comportaban como si hubieran detectado una. Una paloma «pensaba» (o se comportaba como si pensara) que dar unos pasos hacia la izquierda activaba el mecanismo de recompensa. Otra «pensaba» que introducir su cabeza en un rincón tenía el mismo efecto beneficioso. Ambas cometían errores de falso positivo. Un falso negativo podría ser, por ejemplo, el error de una paloma en una caja de Skinner que no se da cuenta de que un picotazo en la tecla suministra comida cuando la luz roja está encendida, pero que si está encendida la luz azul el picotazo produce un castigo: el mecanismo se desconecta durante diez minutos. Existe una pauta genuina que espera ser detectada en el pequeño mundo de esta caja de Skinner, pero nuestra paloma hipotética no es capaz de detectarla. Picotea indiscriminadamente con independencia del color de la luz y, por lo tanto, recibe menos recompensas de las que podría obtener.

Un falso positivo es el error que comete un agricultor que piensa que hacer un sacrificio a los dioses producirá la tan esperada lluvia. Presumo (aunque no he investigado experimentalmente el asunto) que no existe tal pauta en este mundo, pero el agricultor persiste en sus inútiles y ruinosos sacrificios. Un falso negativo es el error que comete un agricultor incapaz de ver que hay una pauta que relaciona el abonado del suelo con el subsiguiente rendimiento de la cosecha. Los buenos agricultores toman una vía intermedia entre los errores de tipo 1 y de tipo 2.

Mi tesis es que todos los animales, en mayor o menor medida, se comportan como estadísticos intuitivos y eligen un camino intermedio entre los errores de tipo 1 y de tipo 2. La selección natural penaliza tanto los errores de tipo 1 como los de tipo 2, pero las sanciones no son simétricas y, sin duda, varían en función de los distintos tipos de vida

de las especies. Una oruga palito se parece tanto a la ramita sobre la que se instala que no cabe dudar de que la selección natural la ha modelado para que se parezca a una ramita. Muchas orugas han tenido que morir para producir este hermoso resultado. Murieron porque no se parecían lo bastante a una ramita. Las aves y otros depredadores las descubrieron. Incluso algunos buenos imitadores de ramitas tuvieron que ser descubiertos. ¿De qué otro modo podría la selección natural haber impulsado la evolución hacia el grado de perfección que vemos? Pero, igualmente, las aves debieron pasar por alto muchas veces a las orugas porque se parecían a ramitas, aunque fuera sólo ligeramente. Cualquier animal presa, no importa lo bien camuflado que esté, puede ser detectado por un depredador en condiciones ideales de visibilidad. Igualmente, un animal presa, con independencia de lo mal camuflado que esté, puede no ser advertido por un depredador en malas condiciones de visibilidad. Las condiciones de visibilidad pueden variar con el ángulo (un depredador puede detectar a un animal bien camuflado cuando lo mira directamente, pero pasar por alto a un animal mal camuflado si lo mira de reojo), con la intensidad de la luz (una presa puede pasar inadvertida en el crepúsculo, mientras que a pleno día sería detectada), o con la distancia (una presa que sería vista a un palmo de distancia puede pasarse por alto a una distancia de 100 metros).

Imaginemos un ave que cruza un bosque en busca de presas. Está rodeada de ramitas, muy pocas de las cuales pueden ser orugas comestibles. El problema es de decisión. Podemos asumir que el ave podría distinguir con garantías una ramita de una oruga si se acercara mucho a la ramita y la sometiera a un examen minucioso y concentrado en condiciones de buena luz. Pero no hay tiempo suficiente para inspeccionar todas las ramitas. Las aves pequeñas, con una elevada tasa metabólica, deben encontrar comida rápidamente si quieren mantenerse vivas. Cualquier pájaro que examinara todas y cada una de las ramitas con el equivalente de una lupa, moriría de hambre antes de encontrar su primera oruga. La búsqueda eficiente exige un rastreo más rápido y superficial, aunque esto conlleve el riesgo de pasar por alto parte de la comida. El ave debe encontrar el justo equilibrio. Demasiado superficial y nunca encontrará nada. Demasiado detallado y reconocerá todas las orugas que inspeccione, pero perderá mucho tiempo y morirá de hambre.

Aquí es fácil aplicar el lenguaje de los errores de tipo 1 y de tipo 2. Un falso negativo es el error cometido por un ave que pasa junto a una oruga sin detenerse a mirarla. Un falso positivo es el error cometido por un ave que se abalanza sobre una supuesta oruga para descubrir que en realidad es una ramita. La penalización por un falso positivo es el tiempo y la energía invertidos en acercarse volando para una inspección detallada: no es grave si se considera aisladamente, pero la acumulación de errores puede resultar fatal. La sanción por un falso negativo es perderse una comida. No hay ningún ave fuera del País de los Cucos que pueda esperar verse libre de los errores de tipo 1 y de tipo 2. Las aves individuales serán programadas por la selección natural para adoptar algún plan de acción de compromiso calculado para conseguir un nivel intermedio óptimo de falsos positivos y falsos negativos. Algunas aves tenderán a cometer errores de tipo 1 y otras tenderán a los de tipo 2. Existirá una disposición intermedia que es la mejor, y la selección natural hará que la evolución se dirija hacia ella.

La situación intermedia óptima variará de una especie a otra. En nuestro ejemplo dependerá también de factores como el tamaño de la población de orugas en relación al número de ramitas. Tales condiciones pueden cambiar de una semana a otra, o de un bosque a otro. Las aves pueden estar programadas para aprender a ajustar su plan de acción como resultado de su experiencia estadística. Pero, tanto si aprenden como si no, los animales que cazan con éxito deben comportarse, por lo general, como si fueran buenos estadísticos. (Incidentalmente, espero no cansar al lector contestando a la consabida objeción: no, las aves no calculan conscientemente con tablas de probabilidad y calculadoras; se comportan *como si* calcularan valores de p . No tienen más conciencia del significado de p que la que tiene el lector de la ecuación de una trayectoria parabólica cuando atrapa una bola de críquet o de béisbol en el campo.)

Los rapaces sacan partido de la credulidad de los gobios y otros peces pequeños. Pero esta manera de hablar es injusta. En vez de hablar de credulidad, sería mejor decir que explotan la inevitable dificultad de sus presas para mantenerse entre los errores de tipo 1 y de tipo 2. Los peces tienen que comer. Lo que comen varía, pero suele incluir pequeños objetos serpenteantes tales como gusanos o camarones. Sus ojos y su sistema nervioso están sintonizados para fijarse en cosas que se retuercen. Buscan un movimiento serpenteante y, si lo detectan, se aba-

lanzan sobre el objeto. El rape explota esta tendencia. Posee una larga caña de pescar, desarrollada a partir de una espina modificada de la aleta dorsal cuya posición delantera original ha sido aprovechada por la selección natural. El propio rape está muy bien camuflado y descansa sobre el fondo marino, inmóvil durante horas, confundiendo perfectamente con algas y rocas. La única parte conspicua del animal es un «cebo» que semeja un gusano, un camarón o un pececillo en el extremo de su caña de pescar. En algunas especies abisales el cebo es incluso luminoso. En cualquier caso, parece retorcerse como algo comestible cuando el rape hace oscilar su caña. Esto atrae a una posible presa, como puede ser un gobio. El rape «juega» con la presa durante un tiempo para captar su atención, y luego dirige su cebo hacia la cercanía de su boca todavía invisible. El pez suele seguir al cebo. De repente, la colosal boca deja de ser invisible. Se abre súbitamente provocando una violenta entrada de agua que arrastra a todo objeto flotante en su vecindad, incluido el pez que ha perseguido a su último gusano.

Desde el punto de vista de un gobio que busca comida, cualquier gusano puede ser pasado por alto o puede ser visto. Una vez el «gusano» ha sido detectado, puede resultar ser un gusano real o el cebo de un rape, y el infortunado pez se enfrenta a un dilema. Un falso negativo sería abstenerse de atacar a un gusano perfectamente bueno por miedo de que pueda ser un cebo de rape. Un falso positivo sería atacar a un supuesto gusano para descubrir que de hecho era un cebo. Otra vez, en el mundo real no se puede ganar siempre. Un pez que sea demasiado remiso ante el riesgo morirá de hambre porque nunca atacará a los gusanos. Un pez que sea demasiado temerario no morirá de hambre, pero es más probable que sea comido. En este caso, el óptimo puede no hallarse en el justo medio. Es más, el óptimo puede ser uno de los extremos. Si los rapes son lo bastante raros, la selección natural puede favorecer el plan de acción extremo de atacar a todo lo que parezca un gusano. Me encanta una observación del filósofo y psicólogo William James sobre la pesca con caña en la especie humana:

Hay más gusanos no clavados en los anzuelos que empalados en ellos; por lo tanto, en su conjunto, la Naturaleza dice a sus hijos los peces: morded cualquier gusano y asumid el riesgo.

(1910)

Como los otros animales, y hasta las plantas, los seres humanos pueden y deben comportarse como estadísticos intuitivos. La diferencia es que nosotros podemos efectuar nuestros cálculos por partida doble. La primera vez de forma intuitiva, como si fuéramos aves o peces, y luego de forma explícita, con papel y lápiz u ordenador. Es tentador decir que el método de papel y lápiz proporciona la respuesta correcta, mientras no cometamos algún disparate públicamente detectable, como sumar fechas, mientras que el sistema intuitivo puede dar una respuesta errónea. Pero, estrictamente hablando, no hay respuesta «correcta», incluso en el caso de la estadística de papel y lápiz. Puede haber una manera correcta de hacer las sumas, de calcular el valor de p , pero el criterio, o el valor umbral de p , en el que nos basamos para emprender una acción determinada sigue siendo decisión nuestra y depende de nuestra aversión al riesgo. Si el castigo por un falso positivo es mucho mayor que la sanción por un falso negativo, deberemos adoptar un umbral cauteloso, conservador: casi nunca probaremos un «gusano» por miedo a las consecuencias. Por el contrario, si la asimetría del riesgo es opuesta, tendremos que lanzamos a probar todos los «gusanos» que haya: es muy probable que el hecho de dar con un falso gusano no tenga importancia, de manera que bien podemos arriesgamos.

Una vez asumida la necesidad de navegar entre el falso positivo y el falso negativo, permítaseme volver a la coincidencia misteriosa y al cálculo de la probabilidad de que sea fruto de la casualidad. Si soñara con un amigo olvidado desde hace tiempo que muere esa misma noche, me sentiría tentado, como cualquier otra persona, de atribuir un significado a tal coincidencia. Desde luego tendría que obligarme a recordar que cada noche muere un número no pequeño de gente, que muchísima gente sueña cada noche, que con frecuencia sueña con personas que mueren, y que coincidencias como éstas les pasan a varios cientos de personas en el mundo cada noche. Mientras estoy pensando todo esto, mi propia intuición clama que la coincidencia debe tener un significado porque me ha ocurrido a *mí*. Si es cierto que la intuición está, en este caso, asumiendo un falso positivo, necesitamos encontrar una explicación satisfactoria de por qué la intuición humana yerra en esta dirección. Como darwinistas que somos, tendríamos que ser conscientes de las posibles presiones selectivas que favorecerían el error de tipo 1 o el de tipo 2.

Quiero sugerir que nuestra buena disposición a dejamos impresionar por coincidencias aparentemente sobrenaturales (lo que es un caso particular de nuestra proclividad a ver patrones donde no los hay) está relacionada con el tamaño de población típico de nuestros antepasados y con la relativa pobreza de su experiencia cotidiana. La antropología, la evidencia fósil y el estudio de otros simios sugieren que nuestros antepasados, durante gran parte de los últimos millones de años, vivían probablemente en pequeñas bandas ambulantes o pequeñas aldeas. En cualquiera de estos dos casos, el número de amigos y conocidos con los que nuestros antepasados se encontrarían de ordinario y con los que hablarían con cierta frecuencia no debía pasar de unas pocas docenas. Un aldeano prehistórico podía esperar oír relatos de coincidencias asombrosas en proporción a este pequeño número de conocidos. Si la coincidencia le ocurría a alguien que no fuera de su aldea, no tendría noticia de ella. De modo que nuestro cerebro se calibró para detectar pautas y quedarse boquiabierto a un nivel de coincidencia que de hecho habría sido bastante modesto si nuestra cuenca de captación de amigos y conocidos hubiera sido grande.

En la actualidad, los periódicos, la radio y otros vehículos de circulación de noticias en masa hacen que nuestra cuenca de captación sea mucho mayor. Ya he explicado los pormenores de la argumentación. Las mejores y más espeluznantes coincidencias tienen la oportunidad de circular, en forma de relatos referidos con aliento entrecortado, por una audiencia mucho más amplia de lo que nunca fue posible en épocas ancestrales. Pero, conjeturo ahora, nuestro cerebro está calibrado por la selección natural ancestral para esperar un nivel de coincidencia mucho más modesto, calibrado para aldeas pequeñas. Así pues, el hecho de que nos impresionen las coincidencias se debe a un umbral de asombro mal calibrado. Nuestras *paqpc* subjetivas han sido calibradas por la selección natural en el seno de pequeñas aldeas y, como ocurre con gran parte de la vida moderna, la calibración está ahora obsoleta. (Podría utilizarse un argumento similar para explicar por qué somos tan históricamente temerosos de los riesgos que reciben mucha publicidad en los periódicos; esos padres ansiosos que imaginan que hay un pedófilo rapaz al acecho detrás de cada farol en el camino que siguen sus hijos desde la escuela quizás estén «mal calibrados».)

Intuyo que puede haber otro efecto particular que empuja en la misma dirección. Sospecho que nuestras vidas individuales en las condiciones modernas son más ricas en número de experiencias por hora que las vidas ancestrales. No nos limitamos a levantarnos por la mañana, ganarnos el sustento igual que ayer, ingerir una comida o dos e irnos de nuevo a dormir. Leemos libros y revistas, vemos la televisión, viajamos -a gran velocidad a lugares nuevos, nos cruzamos con miles de personas en la calle cuando vamos andando al trabajo. El número de caras que vemos, el número de situaciones distintas a las que estamos expuestos, el número de cosas distintas que nos ocurren, es mucho mayor ahora que en tiempos de nuestros antepasados aldeanos. Ello significa que las *oportunidades* de coincidencia son ahora mucho más numerosas que en el pasado, y este número supera lo que nuestros cerebros están calibrados para evaluar. Éste es un efecto adicional que se superpone al efecto del tamaño de la población antes señalado.

En lo que respecta a ambos efectos, es teóricamente posible que seamos capaces de recalibrarnos, de ajustar nuestro umbral de asombro a un nivel más apropiado para los tamaños de población y la riqueza de experiencias del mundo actual. Pero esto parece resultar reveladoramente difícil incluso para científicos y matemáticos refinados. El hecho de que clarividentes y médiums, psíquicos y astrólogos, se ganen tan bien la vida con nosotros sugiere que, en conjunto, no hemos aprendido a recalibrarnos. Sugiere que las partes de nuestro cerebro responsables de la estadística intuitiva se encuentran todavía en la edad de piedra.

Puede que ocurra lo mismo con la intuición en general. En *The Un-natural Nature of Science [La naturaleza no natural de la ciencia]* (1992), el distinguido embriólogo Lewis Wolpert ha argumentado que la ciencia es difícil porque es más o menos sistemáticamente contrain-tuitiva. Esto contradice la opinión de T.H. Huxley (el «bulldog» de Darwin), quien consideraba que la ciencia no era más que «sentido común ejercitado y organizado, que sólo difiere del usual como un veterano puede diferir de un recluta bisoño». Para Huxley, los métodos de la ciencia «sólo difieren de los del sentido común en la medida en que el aspecto y la arremetida del centinela difiere de la manera en que un salvaje esgrime su maza». Wolpert insiste en que la ciencia es profundamente paradójica y sorprendente, una afrenta al sentido común y no

una extensión del mismo, y lo argumenta de manera convincente. Por ejemplo, cada vez que bebemos un vaso de agua estamos absorbiendo al menos una molécula que pasó por la vejiga de Oliver Cromwell. Ello se sigue de la extrapolación de la observación de Wolpert de que «hay muchas más moléculas en un vaso de agua que vasos de agua en el mar». La ley de Newton que dice que los objetos permanecen en movimiento a menos que se haga algo para frenarlos es contraintuitiva. También lo es el descubrimiento de Galileo de que, cuando no hay resistencia del aire, los objetos ligeros caen a la misma velocidad que los pesados. Y también el hecho de que la materia sólida, incluso un duro diamante, está compuesta casi enteramente por espacio vacío. Steven Pinker proporciona una esclarecedora discusión de los orígenes evolutivos de nuestras intuiciones físicas en *How the Mind Works [Cómo funciona la mente]* (1998).

Más profundas son las dificultades que plantean las conclusiones de la teoría cuántica, abrumadoramente corroboradas por la evidencia experimental hasta un número de cifras decimales que no admite discusión, pero tan ajenas a la mente humana evolucionada que superan incluso la intuición de los físicos profesionales. Se diría que no es sólo nuestra estadística intuitiva, sino nuestra propia mente la que se encuentra todavía en la edad de piedra.

8 Enormes símbolos nebulosos de un romance elevado

Dorar el oro refinado, pintar el lirio,
Echar un perfume a la violeta,
Pulir el hielo, o añadir otro matiz
Al arco iris, o con la luz de una vela
Buscar el hermoso ojo del cielo para decorarlo,
Es un exceso ruinoso y ridículo.¹

William Shakespeare, *El rey Juan*, ac-
to IV, escena ii

Un principio central de este libro es que la ciencia, en lo mejor de sí misma, debe dejar sitio a la poesía, señalando analogías y metáforas útiles que estimulen la imaginación y conjuren en la mente imágenes y alusiones que vayan más allá de las necesidades de la comprensión directa. Pero hay poesía buena y poesía mala, y la ciencia poética mala puede conducir a la imaginación por derroteros erróneos. Este peligro es el tema de este capítulo. Por ciencia poética mala entiendo algo más que una redacción incompetente o sin gracia. De hecho, es casi todo lo contrario: me refiero al poder de las imágenes y metáforas poéticas para inspirar mala ciencia, aunque sea buena poesía, quizá más si es buena poesía, porque esto le proporciona un poder aún mayor para engañar.

La mala poesía, en la forma de un ojo demasiado indulgente para la alegoría poética, o la inflación de semejanzas casuales y carentes de significado hasta transformarlos en enormes símbolos nebulosos de un romance elevado (la frase es de Keats), acechan tras muchas usanzas mágicas y religiosas. Sir James Frazer, en *La rama dorada* (1922), reconoce una categoría principal de magia, a la que denomina magia homeopática o imitativa. La imitación varía de lo literal a lo simbólico. Los dayak de Sarawak se comían las manos y las rodillas de sus ene-

1. *To gild refined gold, to paint the lily, / Tu throw a perfume on the violet, / To smooth the ice, or add another hue / Unto the rainbow, or with taper-light / To seek the beauteous eye of heaven to garnish, / Is wasteful and ridiculous excess.*

migos para dar firmeza a sus propias manos y reforzar sus propias rodillas. Aquí la mala idea poética es la noción de que hay alguna esencia de la mano o esencia de la rodilla que puede pasar de una persona a otra. Frazer señala que, antes de la conquista española, los aztecas de México

creían que consagrando el pan sus sacerdotes lo podían convertir en el verdadero cuerpo de su dios, de manera que todos los que luego compartían el pan consagrado tomaban parte en una comunión mística con la deidad al recibir en ellos una porción de su divina sustancia. La doctrina de la transustanciación, o la conversión mágica del pan en carne, era también familiar a los arios de la India antigua mucho antes de la difusión y el auge del cristianismo.

Posteriormente, Frazer generaliza el tema:

Ahora es fácil comprender por qué un salvaje desea consumir la carne de un animal o de un hombre que considera divinos. Al comer el cuerpo del dios adquiere parte de sus atributos divinos, y cuando es un dios de la vid, el jugo de la uva es su sangre; y así, comiendo el pan y bebiendo el vino el devoto consume el cuerpo y la sangre reales de su dios. De este modo, beber vino en los ritos de un dios de la vid como Dionisos no es un acto de juerga, es un sacramento solemne.

En todo el mundo, las ceremonias se basan en una obsesión por las cosas que *representan* a otras cosas con las que guardan cierto parecido en algún aspecto. En muchos sitios se cree que el polvo de cuerno de rinoceronte es afrodisíaco, aparentemente por ninguna razón mejor que el parecido superficial (y trágico para los rinocerontes) de dicho cuerno con un pene erecto. Los hacedores de lluvia profesionales suelen imitar el trueno o el rayo, o conjuran una «dosis homeopática» minúscula de lluvia, rociando agua con un manojo de hierba mojada. Tales rituales pueden hacerse complicados y costosos en tiempo y esfuerzo.

Entre los dieri de Australia central, los brujos hacedores de lluvia, que son *representantes* simbólicos de los dioses ancestrales, eran sangrados (la sangre que gotea *representa* la tan anhelada lluvia) en un

gran agujero del interior de una choza construida al efecto. Después, los dos brujos de la tribu trasladaban dos rocas, que representaban nubes y presagiaban lluvia, a unos 20 o 25 kilómetros de distancia, y allí eran colocadas encima de un árbol alto, para *simbolizar* la altura de las nubes. Mientras tanto, en la cabana, los hombres de la tribu se agachaban y, sin usar las manos, se abalanzaban contra las paredes para abrirse paso a base de cabezazos. Continuaban embistiendo hasta que la choza quedaba destrozada. La perforación de las paredes a cabezazos *simbolizaba* la perforación de las nubes, lo cual, creían, hacía caer la lluvia de las nubes reales. Como precaución adicional, el gran consejo de los dieri tenía una reserva de prepucios juveniles siempre a punto, en razón de su poder homeopático para producir lluvia (¿acaso los penes no hacen «llover» orina, una prueba elocuente de su poder?).

Otro tema homeopático es el del «chivo expiatorio» (así llamado porque una versión judía particular del rito implicaba a un macho cabrío), en el que se elige una víctima para personificar, significar o cargar con todos los pecados y desgracias del pueblo. Después se expulsa al chivo expiatorio, o se le mata, para que se lleve con él los males de las personas. Entre los garos de Assam, cerca de las faldas occidentales del Himalaya, se solía capturar un mono langur (o a veces una rata del bambú), se lo llevaba a cada una de las casas del pueblo para que se empapara de los espíritus malignos, y después se crucificaba en un cadalso de bambú. En palabras de Frazer, el mono

es el chivo expiatorio público, que con su sufrimiento y muerte delegados exonera a la gente de toda enfermedad y contratiempo en el año venidero.

En muchas culturas el chivo expiatorio es una víctima humana, que a menudo se identifica con un dios. La noción simbólica del agua que «lava» los pecados es otro tema común, que a veces se combina con la idea del chivo expiatorio. En una tribu de Nueva Zelanda,

se realizaba un ritual sobre un individuo, mediante el cual se suponía que todos los pecados de la tribu le eran transferidos. Previamente se ataba un tallo de helécho arbóreo a su persona; después

saltaba al no y allí, desatándose, dejaba que el tallo se alejara flotando hasta el mar, llevando sus pecados con él.

Frazer informa asimismo de que el raja de Manipur usaba agua como vehículo para transferir sus pecados a un chivo expiatorio humano, que se agazapaba bajo un andamiaje encima del cual el raja tomaba su baño, que derramaba agua (y los pecados lavados) sobre el chivo expiatorio de debajo.

La condescendencia hacia las culturas «primitivas» no es admirable, de manera que he escogido cuidadosamente los ejemplos para que nos recuerden que las teologías más afines a la nuestra no son inmunes a la magia homeopática o imitativa. El agua del bautismo «lava» los pecados. El propio Jesús es un sustituto para la humanidad (en algunas versiones, a través de una representación simbólica de Adán) que con su crucifixión expía homeopáticamente nuestros pecados. Escuelas enteras de mariología discernen una virtud simbólica en el «principio femenino».

Algunos teólogos sofisticados que no creen literalmente en el parto virginal, la creación en seis días, los milagros, la transustanciación o la resurrección pas-cual, se complacen sin embargo en fantasear acerca del *simbolismo* de tales acontecimientos. Es como si el modelo de la doble hélice del ADN fuera un día descartado por los científicos y éstos, en lugar de aceptar su equivocación, buscaran desesperadamente un significado simbólico tan profundo que trascendiera la simple refutación objetiva. «Por supuesto que ya no creemos literalmente en el *hecho* de la doble hélice», podríamos oírles decir. «Esto sería, efectivamente, demasiado simple. Fue una historia que estaba bien para su tiempo, pero ahora hemos avanzado. En la actualidad, la doble hélice tiene para nosotros un nuevo significado. La compatibilidad de la guanina con la citosina, el ajuste como un guante de la adenina con la timina, y especialmente el íntimo emparejamiento mutuo de la espiral izquierda alrededor de la derecha, todo ello *nos habla* de relaciones amorosas, solícitas, nutricias...» Bueno, me sorprendería que llegáramos a esto, y no sólo porque es improbable que el modelo de la doble hélice vaya a desecharse. Pero en ciencia, como en cualquier otro campo, existe realmente el peligro de intoxicarse por el simbolismo, por semejanzas que carecen de significado, y de alejarse cada vez más

de la verdad, en lugar de acercarse a ella. Steven Pinker cuenta que de vez en cuando es importunado por corresponsales que han descubierto que todo en este universo aparece en tríadas:

el Padre, el Hijo y el Espíritu Santo; protones, neutrones y electrones; masculino, femenino y neutro; los sobrinos del Pato Donald: Jorgito, Jaimito y Juanito, y así sucesivamente, una página tras otra.

How the Mind Works (1998)

Un poco más en serio, Sir Peter Medawar, el distinguido zoólogo y sabio inglés ya citado, inventa un

gran y nuevo principio universal de complementariedad (que no es el de Bohr), según el cual existe una semejanza interna esencial en las relaciones que median entre antígeno y anticuerpo, macho y hembra, electropositivo y electronegativo, tesis y antítesis, y así sucesivamente. Estos pares poseen realmente en común una cierta «calidad de opuesto enfrentado», pero esto es *todo* lo que tienen en común. La semejanza que tienen entre ellos no es la clave taxonómica de alguna otra afinidad más profunda, y el hecho de que reconocamos su existencia señala el final, no el inicio, de una sucesión de ideas.

Pluto's Republic [La república de Plutón] (1982)

Mientras cito a Medawar en el contexto de la intoxicación por el simbolismo, no puedo resistir mencionar su devastadora reseña de *El fenómeno humano* (1955), en el que Teilhard de Chardin «recurre a esa prosa poética vacilante, eufórica, que es una de las manifestaciones más tediosas del espíritu francés». Para Medawar (y para mí ahora, aunque confieso que me cautivó cuando lo leí como estudiante universitario en exceso romántico) este libro es la quintaesencia de la ciencia poética mala. Uno de los temas de que Teilhard trata es la evolución de la conciencia, y Medawar lo cita como sigue, de nuevo en *Pluto's Republic*:

Al final de la era Terciaria, la temperatura física en el mundo celular había estado subiendo desde hacía más de 500 millones de años... Cuando el antropoide, por así decirlo, había llegado «mentalmente» al punto de ebullición, se añadieron algunas calorías

más... No se necesitaba más para trastornar todo el equilibrio interior... Mediante un minúsculo aumento «tangencial», el «radial» retrocedió sobre sí mismo y, por así decirlo, dio un salto infinito hacia delante. Aparentemente, casi nada en los órganos había cambiado. Pero, en profundidad, una gran revolución había tenido lugar; ahora la conciencia estaba saltando e hirviendo en un espacio de relaciones y representaciones supersensoriales...

Medawar comenta secamente:

Debería explicarse que la analogía es con la vaporización del agua cuando se lleva al punto de ebullición, y que cuando todo lo demás se olvida lo que permanece es la imagen del vapor caliente.

Medawar llama asimismo la atención hacia la notoria inclinación de los místicos por la «energía» y las «vibraciones», términos técnicos que se utilizan equivocadamente para crear la ilusión de contenido científico cuando no hay contenido de ninguna clase. También los astrólogos piensan que cada planeta exuda su propia «energía», cualitativamente distinta, que afecta a la vida humana y tiene afinidades con alguna emoción humana: amor en el caso de Venus, agresión para Marte, inteligencia para Mercurio. Estas cualidades planetarias se basan, cómo no, en los caracteres de los dioses romanos de los que los planetas toman su nombre. En un estilo reminiscente de los hacedores de lluvia aborígenes, los signos zodiacales se identifican además con los cuatro «elementos» alquímicos: tierra, aire, fuego y agua. Las personas nacidas bajo los signos terrestres como Tauro son, para citar una página astrológica elegida al azar de la red mundial,

responsables, realistas, tocan de pies en el suelo... Las personas con agua en su signo son simpáticas, compasivas, solícitas, sensibles, psíquicas, misteriosas, y poseen un conocimiento intuitivo... Las que carecen de agua pueden ser antipáticas y frías.

Piséis es un signo acuático (me pregunto por qué), y el elemento agua «representa la energía de la fuerza y el poder inconscientes que nos motivan...».

Aunque el libro de Teilhard pretende ser una obra científica, su «temperatura» y sus «calorías» psíquicas parecen casi tan carentes de sentido como las energías planetarias de la astrología. Los usos metafóricos no están conectados de manera útil con sus equivalentes del mundo real: o bien no se parecen en nada, o bien el parecido dificulta la comprensión en vez de facilitarla.

Con toda esta negatividad, no debemos olvidar que es precisamente el uso de la intuición simbólica para descubrir similitudes ge-nuinas lo que conduce a los científicos a sus mayores contribuciones. Thomas Hobbes fue demasiado lejos cuando concluyó, en el capítulo 5 de su *Leviathan* (1651), que

La *Razón* es el paso; el Aumento de la *Ciencia*, el camino; y el Beneficio de la humanidad, *el fin*. Por el contrario, las Metáforas y las palabras ambiguas y sin sentido son como *ignes fatui*; y razonar sobre ellos es divagar en medio de innumerables absurdos; y su fin es la disputa y la rebelión, o el desprecio.

La habilidad de manejar metáforas y símbolos es uno de los sellos distintivos del genio científico.

En un ensayo de 1939, el literato, teólogo y escritor de cuentos para niños C.S. Lewis hacía una distinción entre poesía magistral (en la que los científicos, pongamos por caso, utilizan un lenguaje metafórico y poético para explicarnos algo que ya comprendemos) y poesía pupilar (en la que los científicos utilizan imágenes poéticas para ayudarse en su propio pensamiento). Aunque ambos usos son importantes, es el segundo el que quiero resaltar aquí. El invento de Michael Faraday de las «líneas de fuerza» magnéticas, que podemos imaginar constituidas por materiales elásticos bajo tensión, dispuestos a liberar su energía (en el sentido definido con precisión por los físicos), fue vital para su propia comprensión del electromagnetismo. Ya he utilizado la imagen poética que hace el físico de entidades inanimadas (electrones, u ondas luminosas, por ejemplo) que se esfuerzan por minimizar su tiempo de viaje. Es una manera fácil de obtener la respuesta adecuada, y es sorprendente lo lejos que puede llevarse. Oí decir una vez a Jacques Monod, el gran biólogo molecular francés, que había conseguido incrementar su intuición química a base de imaginar qué se sentiría

siendo un electrón en una unión molecular concreta. El químico orgánico alemán Kekulé explicó que había soñado con el anillo de la molécula de benceno en la forma de una serpiente que devoraba su propia cola. Einstein estaba siempre imaginando: su mente extraordinaria era guiada por poéticos experimentos mentales a través de extraños mares de pensamiento por los que ni siquiera Newton había navegado.

Pero este capítulo trata de ciencia poética mala, de modo que hundamos nuestro gozo en el pozo del siguiente ejemplo, que me fue remitido por un corresponsal:

Considero que nuestro ambiente cósmico tiene una tremenda influencia sobre el curso de la evolución. ¿De qué otra forma explicamos la estructura helicoidal del ADN, que puede ser debida, bien a la trayectoria helicoidal de la radiación solar incidente, bien a la trayectoria de la Tierra en su órbita alrededor del Sol, la cual, en razón de la inclinación del eje magnético en 23,5° respecto de la perpendicular, es helicoidal, razón por la cual existen los solsticios y equinoccios?

En realidad, no existe la más mínima conexión entre la estructura helicoidal del ADN y la trayectoria helicoidal de la radiación o de la órbita del planeta. La asociación es superficial y no tiene sentido. Ninguna de las tres nos ayuda a comprender ninguna de las otras. El autor está ebrio de metáfora, cautivado por la idea de la hélice, que lo engaña y le hace ver conexiones que no iluminan la verdad en modo alguno. Llamarlo ciencia poética es demasiado amable: es más bien ciencia teológica.

En el correo que recibo se ha registrado últimamente un aumento evidente en la carga normal de frases sobre «teoría del caos», «teoría de la complejidad», «criticalidad no lineal» y similares. No digo que estos corresponsales carezcan de la más vaga y confusa idea acerca de lo que están hablando, pero sí digo que es difícil descubrir si es así. Cultos estilo New Age de todo tipo nadan en falso lenguaje científico, en jerga regurgitada y entendida a medias (no, menos que a medias): campos de energía, vibraciones, teoría del caos, teoría de las catástrofes, consciencia cuántica. Michael Shermer, en *Why People Believe Weird Things [Por qué la gente cree en cosas sobrenaturales]* (1997), cita un ejemplo típico:

Este planeta ha estado dormitando durante eones y con el inicio de las frecuencias superiores de energía está empezando a despertarse en términos de consciencia y espiritualidad. Los maestros de la limitación y los maestros de la adivinación utilizan la misma fuerza creativa para manifestar sus realidades; sin embargo, los primeros se desplazan en una espiral descendente y los últimos en una espiral ascendente, cada uno de ellos aumentando la vibración resonante que les es innata.

La incertidumbre cuántica y la teoría del caos han tenido efectos deplorables sobre la cultura popular, para disgusto de los aficionados genuinos. Ambas son explotadas regularmente por aquellos que tienen tendencia a abusar de la ciencia y a narcotizar su encanto. Estos individuos van desde los charlatanes profesionales hasta los chiflados de la Nueva Era. En América, la industria de las «curas» mediante autoa-yuda amasa fortunas millonarias, y no ha tardado en sacar provecho del formidable talento de la teoría cuántica para dejarnos perplejos. Esto ha sido documentado por el físico norteamericano Víctor Stenger en su excelente libro *Physics and Psychics [Física y psíquicos]* (1990). Un curandero se forró tras escribir una serie de libros sobre lo que él llama «curación cuántica». Otro libro que poseo tiene secciones dedicadas a la psicología cuántica, la responsabilidad cuántica, la moral cuántica, la estética cuántica, la inmortalidad cuántica y la teología cuántica. Me siento vagamente decepcionado porque no hay unos «cuidados cuánticos», pero quizá los pasé por alto.

Mi siguiente ejemplo concentra una gran cantidad de ciencia poética mala en un pequeño espacio. Procede de la solapa de un libro:

Una descripción magistral del universo en evolución, musical, nutridor y esencialmente solícito.

Aunque «solícito» no fuera un tópico agotado, los universos no son el tipo de entidades a las que se puede aplicar de forma sensata un término como solícito. (Me doy cuenta de que soy vulnerable a la crítica de que un gen no es el tipo de entidad a la que debería aplicarse el calificativo de «egoísta», pero desafío enérgicamente a quienquiera que opine así a ver si mantiene esta crítica después de leer *El gen egoísta*

en su totalidad, y no sólo el título.) Hablar de un universo «en evolución» es defendible, pero, como veremos, probablemente es mejor no hacerlo. El calificativo «musical» es presumiblemente una alusión a la «música de las esferas» pitagórica, un fragmento de ciencia poética que en origen no debió ser mala, pero que en la actualidad ya tendríamos que haber dejado atrás. «Nutridor» huele a una de las más deplorables escuelas de ciencia poética mala, inspirada por una variante descarriada del feminismo.

He aquí otro ejemplo. En el año 1997, unos cuantos científicos fueron invitados por un antologista a formular una sola pregunta, la que más desearan ver contestada. La mayoría de cuestiones era interesante y estimulante, pero la siguiente (propuesta por un individuo de sexo masculino) es tan absurda que sólo puedo acusarla de enjabonar al feminismo peleón:

¿Qué sucederá cuando la cultura occidental, masculina, científica, jerárquica, orientada al control, que ha dominado el pensamiento occidental, se integre con la manera de ver las cosas que está surgiendo, femenina, espiritual, holográfica, orientada a la relación?

¿Quería decir «holográfica» u «holística»? Quizás ambas cosas. ¿A quién le importa, mientras suene bien? El significado no cuenta.

En su ensayo de 1995 en el *Skeptical inquirer*, la historiadora y filósofa de la ciencia Noretta Koertge pone el dedo en la llaga al señalar los peligros de una clase de feminismo pervertido que puede tener una influencia maligna sobre la educación femenina:

En lugar de exhortar a las mujeres jóvenes a prepararse para gran variedad de temas técnicos mediante el estudio de la ciencia, la lógica y la matemática, a las alumnas de Estudios para Mujeres se les enseña ahora que la lógica es un instrumento de dominación... las normas y métodos corrientes de la investigación científica son sexistas porque son incompatibles con los «modos de conocimiento femeninos». Los autores del libro de este título, que ha sido premiado, cuentan que la mayoría de mujeres entrevistadas por ellos correspondía a la categoría de «conocedoras subjetivas», caracterizada por un «rechazo apasionado de la ciencia y los científicos».

Estas mujeres «subjetivas» consideran que los métodos de la lógica, el análisis y la abstracción son «territorio ajeno que pertenece a los hombres» y «valoran la intuición como una aproximación más segura y más fructífera a la verdad».

Se podría pensar que, por aberrante que resulte, este tipo de pensamiento sería por lo menos apacible y, vaya, «nutridor». Pero con frecuencia es todo lo contrario. A veces desarrolla un feo tono amenazador, masculino en el peor de los sentidos. Barbara Ehrenreich y Janet Mintosh, en su artículo sobre «El nuevo creacionismo», publicado en 1997 en *The Nation*, cuentan cómo una psicóloga social llamada Phoebe Ellsworth fue intimidada en un seminario interdisciplinar sobre las emociones. Aunque se había propuesto no dar pie a ninguna crítica, en un momento dado mencionó sin darse cuenta la palabra «experimento». Inmediatamente «las manos se levantaron. Algunos de los presentes señalaron que el método experimental es un invento de los machos blancos y Victorianos». Llevando la conciliación a extremos que a mi me hubieran parecido sobrehumanos, Ellsworth admitió que los machos blancos han cometido su parte de daño en el mundo, pero que sus esfuerzos han llevado al descubrimiento del ADN. Eso le valió esta increíble (e increíble) réplica: «¿Crees en el ADN?». Por suerte, todavía quedan muchas jóvenes inteligentes preparadas para acometer una carrera científica, y me gustaría rendir homenaje a su valentía, a la vista de intimidaciones groseras de este calibre.

Desde luego, hay una forma de influencia feminista en la ciencia que es admirable y necesaria. Ninguna persona bien intencionada puede oponerse a las campañas para mejorar la situación de las mujeres en las carreras científicas. Es verdaderamente pasmoso (a la vez que desesperadamente triste) que Rosalind Franklin, cuyas fotografías de cristales de ADN por difracción de rayos X fueron fundamentales para el éxito de Watson y Crick, no fuera admitida en la sala de descanso de su propia institución, impidiéndosele así contribuir a (y aprender de) lo que pudieron ser discusiones científicas cruciales. Incluso tal vez sea verdad que las mujeres pueden aportar a las discusiones científicas un punto de vista que los hombres, típicamente, no aportan. Pero «típicamente» no es lo mismo que «universalmente», y (si bien puede haber diferencias estadísticas en el tipo de investigación por el que

unos y otras se sienten atraídos) las verdades científicas descubiertas por hombres y mujeres serán igualmente aceptadas por las personas razonables de ambos sexos, una vez hayan sido establecidas de manera clara. Y no, la razón y la lógica *no* son instrumentos masculinos de opresión. Sugerir esto es un insulto a las mujeres, tal como dice Steven Pinker:

Entre las afirmaciones de las «feministas de la diferencia» están que las mujeres no se dedican al razonamiento abstracto lineal, que no tratan las ideas con escepticismo ni las evalúan mediante un debate riguroso, que no argumentan a partir de principios morales generales, y otros insultos.

How the Mind Works (1998)

El ejemplo más ridículo de mala ciencia feminista quizá sea la descripción que hace Sandra Harding de los *Principia* de Newton como un «manual de violación». Lo que me sorprende de este juicio no es tanto su presunción como su patriotismo norteamericano. ¿Cómo se *atreve* Harding a elevar su política norteamericana contemporánea por encima de las leyes invariables del universo y de uno de los mayores pensadores de todos los tiempos (quien, dicho sea de paso, resulta que era varón, y bastante antipático)? Paúl Gross y Norman Levitt comentan este ejemplo y otros parecidos en su admirable libro *Higher Superstition [Superstición superior]* (1994), y dejan la última palabra a la filósofa Margarita Levin:

... gran parte de la literatura feminista académica consiste en alabanzas absolutamente extravagantes de otras feministas. El «brillante análisis» de A complementa el «descubrimiento revolucionario» de B y el «valiente empeño» de C. Más desconcertante es la tendencia de muchas feministas a ensalzarse a sí mismas con un evidente mal gusto. Harding termina su libro con la siguiente nota de autoalabanza: «Cuando empezamos a teorizar nuestra experiencia. .. sabíamos que nuestra tarea sería difícil, aunque apasionante. Pero dudo que ni en nuestros más visionarios sueños llegáramos a imaginar que tendríamos que reinventar la ciencia y la especulación científica para que la experiencia social de las mujeres tuviera

sentido». Esta megalomanía sería enervante en un Newton o un Darwin; en el presente contexto es simplemente vergonzosa.

En lo que queda de capítulo me ocuparé de varios ejemplos de ciencia poética mala entresacados de mi propio campo, el de la teoría evolutiva. El primero, que no todos considerarían ciencia mala y hasta cierto punto es defendible, es la visión de Herbert Spencer, Julián Huxley y otros (incluyendo a Teilhard de Chardin) de una ley general de evolución progresiva que funciona a todos los niveles de la naturaleza, no sólo el biológico. Los biólogos modernos aplican el término evolución a un proceso, definido con bastante precisión, de cambios sistemáticos en las frecuencias génicas de las poblaciones, junto con los cambios resultantes en el aspecto de los animales y las plantas a medida que pasan las generaciones. Herbert Spencer, quien, para ser justos, fue el primero en utilizar la palabra *evolución* en un sentido técnico, quería que la evolución biológica se considerara sólo un caso especial. Para él, la evolución era un proceso mucho más general, con leyes compartidas a todos sus niveles. Otras manifestaciones de la misma ley general de la evolución eran el desarrollo del individuo (el progreso desde el huevo fecundado al feto y al adulto), el desarrollo del cosmos, las estrellas y los planetas a partir de inicios más simples, y los cambios progresivos a lo largo del tiempo histórico en fenómenos sociales como las artes, la tecnología y el lenguaje.

La poesía del evolucionismo general tiene cosas buenas y malas. En conjunto, creo que fomenta más la confusión que la iluminación, pero ciertamente hay algo de cada cosa. La analogía entre desarrollo embrionario y evolución de las especies fue astutamente explotada como arma dialéctica por aquel genio irascible que fue J.B.S. Haldane. Cuando un escéptico de la evolución dudaba de que algo tan complicado como un ser humano pudiera haberse derivado de formas originariamente unicelulares, Haldane le hacía notar que él mismo procedía de una forma unicelular, y que todo el proceso había tardado sólo nueve meses. La retórica de Haldane no pierde fuerza por el hecho (que él conocía perfectamente bien) de que desarrollo y evolución no son la misma cosa. El desarrollo es el cambio en la forma de un único objeto, como la arcilla se deforma en las manos del alfarero. La evolución, tal

como se ve en los fósiles tomados de estratos sucesivos, se parece más a una secuencia de imágenes en una película. Un fotograma no se transforma literalmente en el siguiente, pero si proyectamos las imágenes en sucesión experimentamos una ilusión de cambio. Una vez establecida esta distinción, enseguida vemos que el cosmos no evoluciona (se desarrolla), pero la tecnología sí lo hace (los primeros aeroplanos no se han ido remodelando hasta convertirse en aviones modernos; la historia de la aviación, y de otras muchas tecnologías, encaja bien en la analogía de los fotogramas). Asimismo, las modas en el vestir evolucionan en vez de desarrollarse. Es motivo de controversia si la analogía entre la evolución genética, por un lado, y la evolución cultural o técnica, por el otro, es esclarecedora o todo lo contrario; no me ocuparé de esta cuestión aquí.

Mis restantes ejemplos de mala poesía evolucionista proceden en gran parte de un único autor, el paleontólogo y ensayista norteamericano Stephen Jay Gould. No deseo que esta concentración crítica sobre un individuo se interprete como un rencor personal. Por el contrario, es la excelencia de Gould como escritor lo que hace que merezca tanto la pena rebatir sus errores, cuando se dan.

En 1977, Gould escribió un capítulo sobre las «metáforas eternas de la paleontología» como introducción a un libro de varios autores sobre el estudio evolutivo de los fósiles. Empezando con la ridícula afirmación de Whitehead (aunque muy citada) de que toda la filosofía no es más que una nota a pie de página sobre Platón, la tesis de Gould, en las palabras del predicador del Eclesiastés (a quien también cita), es que no hay nada nuevo bajo el Sol: «Lo que fue, eso será. Lo que ya se hizo, eso es lo que se hará». Las controversias actuales en paleontología no son más que antiguas controversias recicladas.

Son anteriores al pensamiento evolucionista y no encontraron resolución dentro del paradigma darwiniano... Las ideas básicas, como las figuras geométricas idealizadas, son pocas. Están eternamente disponibles para su consumo...

Las cuestiones paleontológicas eternas de Gould son tres: ¿Posee el tiempo una flecha direccional? ¿Es interno o externo el motor que impulsa la evolución? La evolución, ¿avanza gradualmente o a saltos

bruscos? Gould busca y encuentra ejemplos históricos de paleontólogos que han adoptado alguna de las ocho combinaciones posibles de respuestas a estas tres preguntas, y se complace en comprobar que se encuentran a uno y otro lado de la revolución darwiniana, como si ésta nunca hubiera tenido lugar. Pero consigue esta proeza a base de analogías forzadas entre escuelas de pensamiento que, examinadas en detalle, no tienen más en común que la sangre y el vino, o que las órbitas helicoidales y el ADN helicoidal. Las tres metáforas eternas de Gould son mala poesía, analogías forzadas que oscurecen más que iluminan; y la mala poesía en sus manos es mucho más dañina, porque Gould es un escritor brillante.

La cuestión de si la evolución posee una flecha direccional es, desde luego, razonable, y puede plantearse de varias maneras. Pero los compañeros de cama que vienen a juntar los distintos planteamientos casan tan mal que esta unión resulta poco útil. La estructura corporal, ¿se hace progresivamente más compleja a medida que la evolución avanza? Esta es una cuestión razonable. También lo es la pregunta de si la diversidad total de las especies planetarias aumenta progresivamente con el paso de las edades. Pero se trata de cuestiones absolutamente distintas, y es claramente inútil inventarse una escuela de pensamiento «progresivista» que dura todo un siglo para unirlos. Menos todavía tiene que ver cualquiera de ellas, en su forma moderna, con las escuelas predarwinianas del «vitalismo» y el «finalismo», que sostenían que los seres vivos eran «impulsados» a progresar desde dentro, por alguna mística fuerza vital, hacia una meta final igualmente mística. Gould establece conexiones antinaturales forzadas entre todas estas formas de progresivismo, lo que es un artificio para apoyar su tesis histórica poética.

Prácticamente lo mismo puede decirse de la segunda metáfora eterna, y de la cuestión de si el motor del cambio está en el ambiente externo o si surge de «alguna dinámica independiente e interna dentro de los propios organismos». Un desacuerdo moderno prominente es el que hay entre los que creen que la principal fuerza motriz de la evolución es la selección natural darwiniana y los que ponen el énfasis en otras fuerzas, como la deriva genética aleatoria. Esta importante distinción no la transmite, ni en lo más mínimo, la dicotomía intemalista/ex-temalista que Gould quiere imponernos con el fin de mantener su tesis

de que la argumentación posdarwiniana es sólo un reciclado de equivalentes predarwinianos. La selección natural, ¿es extemalista o interna-lista? Depende de si hablamos de adaptación al ambiente extemo o de coadaptación mutua de las partes. Volveré más adelante a esta distinción en otro contexto.

La mala poesía es incluso más evidente en la exposición de Gouid de la tercera de sus metáforas eternas, la que se refiere a la evolución gradual frente a la episódica. Gouid utiliza el término «episódico» para unir tres tipos de discontinuidades evolutivas marcadas: primero, catástrofes tales como la extinción en masa de los dinosaurios; segundo, macromutaciones o saltaciones, y tercero, puntuación en el sentido de la teoría del equilibrio puntuado o interrumpido propuesta por Gouid y su colega Niles Eldredge en 1972. Esta última teoría requiere una explicación más detallada y volveré a ella enseguida.

Es fácil definir las extinciones catastróficas. Las causas exactas de las mismas son objeto de controversia y probablemente varían en cada caso. Por el momento, el lector sólo tiene que advertir que una catástrofe planetaria en la que desaparece la mayoría de las especies no es, por decirlo suavemente, lo mismo que una macromutación. Las mutaciones son errores aleatorios en la copia de los genes, y las macromutaciones son mutaciones de gran efecto. Una mutación de pequeño efecto, o micromutación, es un error pequeño en la copia de los genes, cuyo efecto puede ser demasiado sutil para apreciarse claramente, como puede ser un ligero alargamiento del hueso de una pata o un atisbo de enrojecimiento de una pluma. Una macromutación es un error espectacular, un cambio tan grande que, en casos extremos, su poseedor sería clasificado en una especie distinta de la de sus padres. En mi anterior libro, *Escalando el monte Improbable*, reproduje una fotografía publicada en un periódico de un sapo con los ojos en el techo de la boca. Si esta fotografía es auténtica (y el condicional es más que necesario en estos días de Photostop y otros programas de manipulación digital de imágenes), y si el error es genético, el sapo es un macromutante. Si este macromutante generara una nueva especie de sapos con ojos en el techo de la boca, tendríamos que describir el abrupto origen evolutivo de la nueva especie como una saltación, o salto evolutivo. Ha habido biólogos, como el genetista germanoamericano Richard Goldschmidt, para quienes tales saltaciones han tenido un papel

relevante en la evolución. Yo soy uno de los muchos que han puesto en duda esta idea, pero no es éste mi propósito aquí. Lo que aquí planteo es algo mucho más básico: que tales saltos genéticos, suponiendo que se den, no tienen nada en común con las catástrofes que conmovieron la Tierra, como la súbita extinción de los dinosaurios, excepto que ambos procesos son súbitos. La analogía es puramente poética, en este caso poesía mala y nada esclarecedora. Recordando las palabras de Medawar, la analogía señala el final, no el inicio, de una sucesión de ideas. Las maneras de ser no gradualista son lo bastante diversas para despojar a la categoría de cualquier utilidad.

Lo mismo vale para la tercera categoría de no gradualistas: los puntuacionistas en el sentido de Eidredge y Gouid. Aquí la idea es que una especie surge en un lapso de tiempo corto en comparación con el periodo mucho más largo de «estasis», durante el cual sobrevive sin cambios tras su diferenciación inicial. En la versión extrema de la teoría, la especie, una vez diferenciada, ya no cambia hasta que se extingue o se subdivide para originar una nueva especie hija. La confusión, emanada de la mala poesía, surge cuando nos preguntamos qué ocurre en esos episodios súbitos de formación de especies. Hay dos posibilidades, una completamente distinta de la otra, pero Gouid presta poca atención a las diferencias porque se ha dejado seducir por la mala poesía. Una es la macromutación: la nueva especie es fundada por un individuo anormal, como el ya citado sapo con los ojos dentro de la boca. La otra posibilidad (más plausible en mi opinión, pero ahora no estoy hablando de esto) es lo que podemos llamar gradualismo rápido. La nueva especie aparece en un breve episodio de cambio evolutivo rápido que, aun siendo gradual en el sentido de que los progenitores no producen una nueva especie en una única generación, es lo bastante rápido para que parezca un instante en el registro fósil. El cambio abarca muchas generaciones de pequeños incrementos que se acumulan paso a paso, pero a escala geológica parece un salto súbito. Ello se debe a que las formas intermedias vivían en un lugar distinto (como una isla distante) y/o a que los estadios intermedios se sucedieron demasiado deprisa para fosilizarse; 10.000 años es un periodo demasiado corto para que resulte discernible en la mayoría de estratos geológicos, pero es un tiempo suficiente para que se produzcan cambios evolutivos apreciables.

El gradualismo rápido y la saltación macromutacional no pueden ser más distintos. Uno y otro proceso dependen de mecanismos totalmente diferentes y tienen implicaciones radicalmente distintas para las controversias darwinianas. Meterlos en el mismo saco sólo porque ambos conducen a discontinuidades en el registro fósil, como las extinciones catastróficas, es ciencia poética de la mala. Gouid es consciente de la diferencia entre gradualismo rápido y macromutación, pero trata el asunto como un detalle menor, que se clarificará una vez hayamos abordado la cuestión más general de si la evolución es episódica o gradual. Pero esto sólo se puede considerar más general si uno está intoxicado por la mala poesía. Tiene tan poco sentido como la pregunta de mi corresponsal acerca de si la doble hélice del ADN «proviene» de la órbita de la Tierra. De nuevo, el gradualismo rápido no se parece más a la macromutación de lo que un brujo sangrante se parece a un chubasco.

Peor aún es colocar el catastrofismo bajo el mismo parasol puntuacionista. En la época predarwiniana, la existencia de fósiles se hizo cada vez más embarazosa para los creyentes en la creación bíblica. Algunos confiaban en ahogar el problema en el diluvio universal, pero ¿por qué parecían mostrar los estratos espectaculares sustituciones de faunas enteras, cada una de ellas distinta de su predecesora, y todas ellas en gran parte libres de los organismos que hoy nos son familiares? La respuesta que dio, entre otros, el barón de Cuvier, anatomista francés del siglo xviii, fue el catastrofismo. El diluvio de Noé fue sólo el último de una serie de desastres purificadores que enviaba a la Tierra un poder sobrenatural. Cada catástrofe iba seguida de una nueva creación.

Dejando de lado la intervención sobrenatural, esto tiene algo (muy poco) en común con nuestra moderna creencia de que las extinciones en masa, como las que marcaron el fin de los periodos Pérmico y Cretácico, estuvieron seguidas por nuevos florecimientos de diversidad evolutiva que igualaron las radiaciones previas. Pero juntar a los catastrofistas con los macromutacionistas y con los puntuacionistas modernos por el solo hecho de que las tres escuelas pueden caracterizarse como no gradualistas, es muy mala poesía, ciertamente.

Cuando he dado conferencias en Estados Unidos, más de una vez he advertido una intrigante pauta en las preguntas que me dirige la au-

diencia. La persona que pregunta llama mi atención sobre el fenómeno de la extinción en masa, como el finalcatastrófico de los dinosaurios y su sucesión por los mamíferos. Es algo que me interesa mucho y empiezo a simpatizar con lo que promete ser una pregunta estimulante. Entonces me doy cuenta de que el tono de la pregunta es inequívocamente *desafiante*. Es como si la persona que pregunta casi esperara que yo me sorprendiera o me mostrara desconcertado por el hecho de que la evolución se vea interrumpida periódicamente por extinciones en masa catastróficas. Esto me desconcertaba hasta que de repente comprendí lo que ocurría. ¡Naturalmente! Los que preguntan, como mucha gente en Norteamérica, han aprendido cuanto saben de evolución a partir de Gouid, y a mí se me ha puesto en la lista de los *gradualistas* y «ultradarwinistas». ¿Acaso el cometa que eliminó a los dinosaurios no hizo también saltar del agua mi concepción gradualista de la evolución? Desde luego que no. No existe la menor conexión. Soy gradualista en el sentido de que no pienso que las macromutaciones hayan desempeñado un papel importante en la evolución. Más resueltamente, soy un gradualista cuando se trata de explicar la evolución de adaptaciones complejas como los ojos (al igual que cualquier persona cuerda, incluido Gouid). Pero ¿qué diantre tiene que ver eso con las extinciones en masa? Nada en absoluto. A menos, claro, que a uno le hayan llenado la mente con mala poesía. Para que conste, creo, y he creído durante toda mi carrera, que las extinciones en masa ejercen una influencia profunda y espectacular en el curso subsiguiente de la historia evolutiva. ¿Cómo podría ser de otro modo? Pero las extinciones en masa no forman parte del proceso darwiniano, excepto en que baldean la cubierta para permitir nuevos orígenes darwinistas.

Aquí acecha la ironía. Entre los aspectos relativos a la extinción que a Gouid le encanta resaltar está el carácter caprichoso de ésta. Él lo llama contingencia. Cuando la extinción en masa golpea, grupos importantes de animales desaparecen por completo. En la extinción del Cretácico, el grupo de los dinosaurios, antes poderoso, fue completamente aniquilado (con la notable excepción de las aves). La elección de un grupo principal como víctima es aleatoria o, si no, su no aleatoriedad es distinta de la que vemos en la selección natural convencional. Las adaptaciones normales para la supervivencia no sirven contra los cometas. Resulta grotesco que este hecho se saque a menudo a relucir

como si se tratara de un punto de debate contra el neodarwinismo. Pero la selección natural neodarwinista es selección *dentro* de la especie, no entre especies. Sin duda, la selección natural implica muerte y la extinción en masa también, pero cualquier parecido adicional entre una y otra es puramente poético. Irónicamente, Gouid es uno de los pocos darwinistas que todavía cree que la selección natural opera a niveles superiores al del organismo individual. Al resto de nosotros ni siquiera se nos ocurriría *preguntar* si las extinciones en masa son acontecimientos selectivos. Podemos considerar que la extinción abre nuevas oportunidades a la adaptación, al elegir por separado la selección natural de nivel inferior entre los individuos de cada una de las especies que han sobrevivido a la catástrofe. Como ironía adicional, es el poeta Auden quién más cerca estuvo de entenderlo bien:

Pero las catástrofes sólo alentaron el experimento. Como regla, fueron los más adaptados los que perecieron,
y los inadaptados,
forzados por el fracaso a emigrar a nichos inhabitados, los que alteraron su estructura y prosperaron.²

«Impredecible pero providencial (para Loren Eiseley)»

El siguiente ejemplo de ciencia poética mala también pertenece a la paleontología, y de nuevo Stephen Jay Gouid es responsable de su popularidad, aunque él mismo no lo haya expresado en su forma extrema. Muchos lectores de su libro *La vida maravillosa*, elegantemente escrito, se han dejado cautivar por la idea de que hubo algo especial y único en todo el asunto de la evolución durante el periodo Cámbrico, cuando aparecen los primeros fósiles de la mayor parte de los grandes grupos animales, hace algo más de 500 millones de años. No es sólo que los animales del Cámbrico fueran peculiares. Por supuesto que lo eran. Los animales de cualquier era tienen sus peculiaridades, y los del Cámbrico eran, presumiblemente, más peculiares que la mayoría. No, lo que Gouid sugiere es que todo el proceso evolutivo en el Cámbrico fue singular.

2. *But calastrophes only encouraged experiment. /As a rule, it was the fittest who perished, the mis-fits, /forced by failure to emigróte to unsettled niches, who / altered heir structure and prospered.*

El punto de vista neodarwinista estándar de la evolución de la diversidad es que una especie se subdivide en dos cuando dos poblaciones se vuelven tan desiguales que ya no pueden interfecundarse. Con frecuencia las poblaciones empiezan a divergir cuando se establece entre ellas una separación geográfica. La separación significa que ya no mezclan sexualmente sus genes, lo que permite que éstos evolucionen en direcciones diferentes. La evolución divergente puede ser impulsada por la selección natural (que es probable que empuje en direcciones distintas debido a las diferentes condiciones en las dos áreas geográficas), o puede consistir en una deriva genética aleatoria (puesto que las dos poblaciones ya no se mantienen genéticamente ligadas por la mezcla sexual, no hay nada que les impida derivar apartándose una de otra). En cualquier caso, una vez han evolucionado hasta estar tan separadas genéticamente que ya no podrían interfecundarse aunque se reunieran geográficamente, entonces se las define como pertenecientes a especies separadas.

Posteriormente, la falta de interfertilidad permite una divergencia evolutiva ulterior. Lo que habían sido especies distintas dentro de un género se convierten, al cabo del tiempo, en distintos géneros dentro de una familia. Más tarde, se encontrará que las familias han divergido unas de otras hasta el punto en que los taxónomos (especialistas en la clasificación) prefieren llamarlas órdenes; luego vendrían las clases, y por último los tipos o filos (del latín *phylum*). El tipo es la denominación taxonómica mediante la cual distinguimos grupos de animales realmente diferentes en lo fundamental, como moluscos, gusanos ne-mátodos, equinodermos y cordados (los cordados son en su mayoría vertebrados más unos pocos animales raros). Los antepasados de dos tipos distintos, pongamos por caso vertebrados y moluscos, que ahora vemos contruidos según «planes corporales fundamentales» absolutamente diferentes, fueron antaño simplemente dos especies dentro de un género. Antes de eso, fueron dos poblaciones geográficamente separadas de una especie ancestral. La implicación de este punto de vista ampliamente aceptado es que, a medida que retrocedemos más y más en el tiempo geológico, la separación entre cualquier par de grupos animales se hace cada vez más pequeña. Cuanto más atrás en el tiempo nos remontamos, más cerca estamos de la unión de estos distintos tipos de animales en su especie ancestral común. Nuestros antepasados y los

antepasados de los moluscos fueron antaño muy parecidos. Después ya no lo fueron tanto. Más tarde habían divergido todavía más, y así hasta que al final se han hecho tan distintos que tenemos que clasificarlos en dos filos distintos. Esta historia general es difícilmente objetable por cualquier persona razonable que piense detenidamente en ello, aunque no tenemos por qué aceptar el punto de vista de que el ritmo de la evolución es uniforme: podría consistir en estallidos rápidos.

La expresión teatral «explosión cámbrica» se utiliza en dos sentidos. Puede referirse a la observación objetiva de que antes del periodo Cámbrico, hace algo más de 500 millones de años, apenas hay fósiles. La mayoría de los tipos animales principales aparece por vez primera en las rocas del Cámbrico, en lo que parece una gran explosión de nuevas formas. El segundo significado es la teoría de que los tipos se ramificaron realmente a partir de un tronco común durante el Cámbrico, en un periodo que podría ser tan reducido como 10 millones de años. Esta segunda idea, que llamaré «hipótesis de la explosión de puntos de ramificación», es controvertida. No es en absoluto incompatible con lo que denomino modelo neodarwinista estándar de divergencia de especies. Ya hemos convenido que, si seguimos la pista de cualquier par de tipos modernos hacia atrás en el tiempo, acabaremos convergiendo en un antepasado común. Tengo la corazonada de que los diferentes antepasados comunes de cada par de tipos que consideremos estarán en distintas eras geológicas. Estimo que el antepasado común de vertebrados y moluscos, por ejemplo, habría existido hace unos 800 millones de años, el de vertebrados y equinodermos lo encontraríamos hace 600 millones de años, y así sucesivamente. Pero puedo estar equivocado, y podemos reconciliar fácilmente la hipótesis de la explosión de puntos de ramificación con el modelo estándar diciendo que, por alguna razón (lo bastante interesante para ser investigada), la mayor parte de los antepasados comunes de los tipos animales actuales se concentra en un periodo geológico relativamente corto, pongamos que hace entre 540 y 530 millones de años. Esto debería significar que, al menos cerca del inicio de este periodo de 10 millones de años, los antepasados de los tipos modernos no eran ni de lejos tan diferentes entre sí como lo son hoy. Después de todo, en aquella época estaban divergiendo a partir de antepasados comunes, y originalmente eran miembros de la misma especie.

El punto de vista gouldiano extremo (al menos el que inspira su retórica, aunque es difícil deducir a partir de sus propias palabras si él mismo lo apoya en su forma literal) es radicalmente distinto del modelo neodarwinista estándar, y absolutamente incompatible con él. Además, como demostraré, tiene implicaciones que, una vez detalladas, cualquiera puede apreciar que son absurdas. Stuart Kauffman lo expresa (delatar sería un verbo más adecuado) con mucha claridad en algunos pasajes de su *At Home in the Universe [CÓmodo en el universo]* (1995):

Se podría imaginar que los primeros organismos pluricelulares serían todos muy similares, y que sólo más tarde se diversificaron, de abajo arriba, en diferentes géneros, familias, órdenes, clases, etcétera. Esto, efectivamente, sería lo que esperaría el darwinista convencional más estricto. Darwin, profundamente influido por la naciente teoría del gradualismo geológico, propuso que toda la evolución tuvo lugar por la acumulación muy gradual de variaciones útiles. Así, los organismos pluricelulares más antiguos tuvieron que haber divergido gradualmente unos de otros.

Hasta aquí, éste es un resumen correcto de la hipótesis neodarwinista ortodoxa. Ahora bien, en un extraño párrafo, Kauffman continúa:

Pero esto parece ser falso. Una de las características maravillosas y sorprendentes de la explosión cámbrica es que el esquema se llenó de arriba abajo. Súbitamente brotaron muchos planes corporales absolutamente diferentes (los tipos), y la naturaleza se *explayó* en estos diseños básicos para formar las clases, órdenes, familias y géneros... En su libro sobre la explosión cámbrica, Stephen Jay Gould señala con admiración esta calidad de arriba abajo del Cámbrico.

¡No es para menos! El lector sólo tiene que pensar por un momento en lo que tendría que significar para los animales sobre el terreno este relleno «de arriba abajo», y enseguida advertirá lo ridículo de esta idea. Los «planes corporales», como el de los moluscos o el de los equinodermos, no son esencias ideales que cuelgan del cielo, como los ves-

tidos de los diseñadores, a la espera de que los animales reales los adopten. Animales reales es todo lo que había: animales reales que vivían, respiraban, andaban, comían, excretaban, luchaban, copulaban, que tenían que sobrevivir y que no podían haber sido radicalmente distintos de sus padres y abuelos reales. Para que un nuevo plan corporal (un nuevo tipo) surja de golpe, lo que tiene que pasar realmente sobre el terreno es que de repente, como llovido del cielo, nazca un hijo que sea tan diferente de sus padres como un caracol lo es de una lombriz de tierra. Ningún zoólogo que piense un poco en las implicaciones, ni siquiera el saltacionista más ardiente, apoyaría nunca una idea como ésta. Los saltacionistas convencidos se contentan con postular la aparición súbita de nuevas *especies*, e incluso esta idea relativamente modesta es muy controvertida. Cuando se traduce la retórica gouldiana a las cuestiones prácticas de la vida real, ésta se revela como mala ciencia poética en su versión más pura.

Kauffman es incluso más explícito en un capítulo posterior. Al discutir alguno de sus ingeniosos modelos matemáticos de evolución sobre «relieves adaptativos abruptos», Kauffman señala un patrón que según él

se parece muchísimo a la explosión cámbrica. Muy pronto, en el proceso de ramificación, encontramos una variedad de saltos mutacionales de largo alcance que difieren espectacularmente tanto del tronco común como entre sí. Estas especies poseen diferencias morfológicas suficientes para categorizarlas como fundadoras de filos distintos. Las fundadoras también se ramifican, pero lo hacen a través de variantes que representan saltos de menor alcance, produciendo ramas de especies hijas diferenciadas, las fundadoras de las clases. A medida que el proceso continúa, se encuentran variantes más adaptadas en vecindades cada vez más cercanas, de modo que surgen progresivamente las fundadoras de órdenes, familias y géneros.

Un libro anterior de Kauffman, más técnico, *The Origins of Order [Los orígenes del orden]* (1993), dice algo parecido acerca de la vida en el Cámbrico:

No sólo se originó rápidamente un gran número de formas corporales nuevas, sino que la explosión cámbrica exhibió otra novedad: las especies fundadoras parecen haber constituido los taxones superiores de arriba abajo. Es decir, los ejemplares de los principales tipos aparecieron primero, seguidos por un relleno progresivo de los niveles taxonómicos de clase, orden e inferiores...

Esto tiene una lectura inofensiva hasta el punto de la obviedad. En nuestro modelo de «convergencia hacia atrás» es esperable que las subdivisiones de especies destinadas a convertirse en divisorias de tipos precedieran por norma a las que iban a convertirse en fronteras entre órdenes y niveles taxonómicos inferiores. Pero es evidente que Kauffman no piensa que está diciendo algo corriente y obvio. Esto se trasluce en su afirmación de que «la explosión cámbrica exhibió otra novedad», y en su expresión «saltos mutacionales de largo alcance». Kauffman cree que está atribuyendo al Cámbrico algo revolucionario, y parece sugerir la lectura alternativa de que los «saltos mutacionales de largo alcance» dan lugar, de forma instantánea, a tipos morfológicos enteramente nuevos. Me apresuro a señalar que estos párrafos de Kauffman se insertan en un par de libros que, en su mayor parte, son interesantes, creativos y no están influidos por Gould. Lo mismo puede decirse del libro de Richard Leakey y Roger Lewin *La sexta extinción* (1996), otra obra reciente admirable en la mayoría de sus capítulos, pero echada a perder tristemente por culpa del titulado «El motor de la evolución», manifiesta y confesadamente influido por Gould. He aquí un par de pasajes importantes:

Fue como si la fábrica de saltos evolutivos que produjo las principales novedades funcionales (las bases de los nuevos tipos) hubiera desaparecido al terminar el periodo cámbrico. Fue como si el motor de la evolución hubiera perdido parte de su potencia.

De aquí que la evolución, en los organismos cámbricos, permitiera saltos mayores, por ejemplo los saltos al nivel del filo, y que posteriormente estuviera más constreñida y se limitara a dar sólo brincos modestos al nivel de la clase.

Como he escrito en otra parte, es como si un jardinero contemplara un viejo roble y dijera, con admiración: «Resulta extraño que, desde hace muchos años, no hayan aparecido nuevas ramas principales en este árbol. Actualmente, todo el nuevo crecimiento parece darse al nivel de las ramitas». Piénsese de nuevo lo que un «salto al nivel del filo», o incluso un «modesto» (¿?) salto al nivel de la clase habría significado. Recordemos que los animales de filos o tipos diferentes tienen distintos planes corporales fundamentales, como los moluscos y los vertebrados, o como las estrellas de mar y los insectos. Un salto mutacional de largo alcance, al nivel del filo, querría decir que dos progenitores pertenecientes a un mismo filo se aparearon y produjeron un descendiente perteneciente a un filo distinto. La diferencia entre padre e hijo tendría que haber sido de la misma escala que la diferencia entre un caracol y una langosta, o entre una estrella de mar y un bacalao. Un salto al nivel de la clase equivaldría a que una pareja de aves engendrara un mamífero. Uno sólo tiene que imaginar a los padres contemplando el nido, admirados de lo que han producido, para apreciar el carácter estafalario de esta teoría.

Mi seguridad a la hora de ridiculizar estas ideas no se basa simplemente en el conocimiento de los animales actuales. Evidentemente, si sólo fuera esto, se podría aducir que en el Cámbrico las cosas eran distintas. No, el argumento contra los saltos de largo alcance de Kauff-man, o los saltos al nivel del tipo de Leakey y Lewin, es teórico, y de una gran fuerza. Es éste: aunque se hubieran dado mutaciones a esta escala gigantesca, sus productos no habrían sobrevivido. Ello se debe fundamentalmente a que, como ya he dicho, por muchas maneras que pueda haber de estar vivo, hay casi infinitas maneras de estar muerto. Una mutación pequeña, que representa un corto paso respecto de un progenitor que ha demostrado su capacidad para sobrevivir por el solo hecho de ser progenitor, tiene, por eso mismo, más posibilidades de sobrevivir, y hasta puede representar una mejora. Una mutación gigantesca, al nivel del tipo, es un salto en el vacío más absoluto y salvaje. He dicho que un salto mutacional de tal alcance habría sido de la misma *magnitud* que una mutación que transformara un molusco en un insecto. Pero, desde luego, no habría sido nunca un salto de molusco a insecto. Un insecto es una máquina de supervivencia muy bien ajustada. Si un progenitor molusco hubiera dado origen a un nuevo filo, el

salto habría sido aleatorio, como cualquier otra mutación. Y la probabilidad de que un salto aleatorio de esta magnitud hubiera producido un insecto, o *cualquier cosa que tuviera la más mínima posibilidad de sobrevivir*, es tan pequeña que puede descartarse del todo. La probabilidad de que fuera viable es imposiblemente pequeña, con independencia de lo vacío que estuviera el ecosistema, de lo abiertos que estuvieran los nichos. Un salto al nivel del tipo sería un disparate.

No creo que los autores que he citado crean realmente lo que sus palabras impresas parecen querer comunicar. Pienso que, simplemente, se han intoxicado con la retórica de Gould y no han meditado detenidamente la cuestión. Si los he citado en este capítulo es para ilustrar el poder para despistar que un poeta hábil puede ejercer de forma inconsciente, en especial si primero se ha despistado a sí mismo. Es indudable que la poesía del Cámbrico como un alba dichosa de innovación es seductora. Kauffman se siente completamente arrebatado por ella:

Poco después de que se inventaran las formas pluricelulares, se abrió paso una gran explosión de novedad evolutiva. Uno casi tiene la sensación de que la vida pluricelular intentaba alegremente todas sus posibles ramificaciones, en una especie de danza salvaje de exploración descuidada.

At Home in the Universe (1995)

Sí. Uno tiene *exactamente* esta sensación. Pero la tiene a partir de la retórica de Gould, no a partir de los fósiles del Cámbrico ni del razonamiento sereno sobre los principios evolutivos.

Si científicos del calibre de Kauffman, Leakey y Lewin pueden ser seducidos por la mala ciencia poética, ¿qué defensa tiene el no especialista? Daniel Dennett me contó que un colega filósofo había leído *La vida maravillosa* y había entendido que los tipos cámbricos no tenían un antepasado común, sino que representaban ¡orígenes de la vida independientes! Cuando Dennett le aseguró que no era esto lo que Gould había querido comunicar, ni mucho menos, la respuesta de su colega fue: «Pues entonces, ¿a qué viene tanto jaleo?».

La excelencia a la hora de escribir es una espada de doble filo, como ha señalado el distinguido evolucionista John Maynard Smith en el *New York Review of Books* de noviembre de 1995:

Gould ocupa una posición bastante curiosa, en particular en su lado del Atlántico. Debido a la excelencia de sus ensayos, los no biólogos han llegado a considerarlo como un evolucionista teórico preeminente. En cambio, los biólogos evolutivos con los que he discutido sobre su trabajo tienden a verlo como un hombre cuyas ideas son tan confusas que apenas vale la pena prestarles atención, pero también como alguien a quien no es conveniente criticar en público, porque al menos está de nuestro lado contra los creacionistas. Todo esto no importaría si no fuera porque está ofreciendo a los no biólogos una imagen en gran parte falsa del estado de la teoría evolutiva.

Esta cita está extraída de la reseña de Maynard Smith del libro de Dennett *Darwins Dangerous Idea [La peligrosa idea de Darwin]* (1995), que condensa una crítica devastadora y, espero, terminal de la influencia de Gould sobre el pensamiento evolutivo.

¿Qué ocurrió realmente en el Cámbrico? Simón Conway Morris, de la Universidad de Cambridge, es, como Gould reconoce empalagosamente, uno de los tres principales investigadores actuales de Burgess Shale, el yacimiento de fósiles cámbricos que es el tema de *La vida maravillosa*. Conway Morris ha publicado recientemente su propio y fascinante libro sobre el asunto, *The Crucible of Creation [El crisol de la creación]* (1998), en el que se muestra crítico con casi todos los aspectos de la concepción de Gould. Al igual que Conway Morris, no creo que haya ninguna buena razón para pensar que el proceso evolutivo fuera diferente en el Cámbrico a como lo es en la actualidad. Pero no hay duda de que en el registro fósil del Cámbrico se observa por primera vez un gran número de grupos animales principales. La hipótesis obvia se le ha ocurrido a mucha gente. Puede que varios grupos de animales desarrollaran esqueletos duros y fosilizables hacia la misma época y quizá por la misma razón. Una posibilidad es una carrera de armamentos evolutiva entre depredadores y presas, o un cambio espectacular en la química de la atmósfera. Conway Morris no encuentra en absoluto ningún respaldo para la idea poética de un florecimiento exuberante y extravagante de la vida en una danza frenética de diversidad y disparidad cámbrica, que posteriormente fue podada hasta quedarse en el repertorio actual, más limitado, de tipos animales. Si

acaso, lo que parece ser cierto es lo contrario, como la mayoría de evolucionistas esperarían.

¿Dónde deja esto la cuestión de la cronología de la ramificación de los tipos principales? Recuérdese que ésta es una cuestión distinta de la explosión cámbrica de fósiles nuevos, que nadie pone en duda. El asunto controvertido es si las divergencias de los tipos principales se concentran todas en el Cámbrico (la hipótesis de la explosión de ramificaciones). Ya he dicho que el neodarwinismo estándar es compatible con esta hipótesis. Pero, aun así, no la considero probable en absoluto.

Una posible manera de abordar la cuestión es observar los relojes moleculares. «Reloj molecular» se refiere a la observación de que ciertas moléculas biológicas cambian a una tasa relativamente fija a lo largo de millones de años. Si se acepta esto, se puede tomar sangre de dos animales modernos y calcular cuánto tiempo hace que vivió su antepasado común. Algunos estudios recientes han hecho retroceder los puntos de divergencia de varios pares de tipos situándolos bastante más atrás en el Precámbrico. Si tales estudios son correctos, toda la retórica de una explosión evolutiva se hace superflua. Pero sigue habiendo controversia sobre la interpretación de los resultados de los relojes moleculares cuando se refieren a una época tan remota, por lo que habremos de esperar a tener más indicios.

Mientras tanto, hay un argumento lógico que puedo hacer valer con más confianza. La única evidencia en favor de la hipótesis de la explosión de puntos de ramificación es negativa: hay muy pocos fósiles de la mayoría de tipos animales antes del Cámbrico. Pero estos animales fósiles carentes de antepasados fósiles debieron tener antepasados de algún tipo. No pueden haber surgido de la nada. Por lo tanto, *tuvo que haber antepasados que no se fosilizaron*, pues ausencia de fósiles no significa ausencia de animales. La única cuestión que subsiste es si los antepasados que faltan, y que se remontan a los puntos de ramificación, estuvieron todos comprimidos en el Cámbrico o bien se repartieron por los cientos de millones de años previos. Puesto que la única razón para suponer que se concentraron en el Cámbrico es la ausencia de fósiles, y puesto que acabamos de demostrar lógicamente la irrelevancia de dicha ausencia, concluyo que no hay ninguna buena razón para apoyar la hipótesis de la explosión de puntos de ramificación, a pesar de su indudable atractivo poético.

9 El cooperador egoísta

La maravilla... y no ninguna expectativa de ventajas derivadas de sus descubrimientos, es el primer principio que incita a la humanidad al estudio de la Filosofía, de esta ciencia que pretende poner al descubierto las conexiones escondidas que unen las diferentes apariencias de la naturaleza.

Adam Smith, «La historia de la astronomía» (1795)

Los bestiarios medievales continuaron una tradición más antigua de secuestrar la naturaleza como fuente de relatos morales. En su forma moderna, en el desarrollo de las ideas evolutivas, la misma tradición subyace tras una de las formas más egregias de ciencia poética mala. Me refiero a la ilusión de que existe una oposición sencilla entre desagradable y encantador, social y antisocial, egoísta y altruista, duro y amable; que cada uno de estos pares de opuestos se corresponde con los otros, y que la historia de la controversia evolutiva sobre la sociedad se describe como un péndulo que oscila de un lado a otro a lo largo de un continuo entre estos opuestos. No niego que esto plantee temas de discusión interesantes. Lo que critico es la idea «poética» de que hay un continuo único y que los argumentos valiosos deben situarse entre posiciones estratégicas a lo largo de su recorrido. Para invocar otra vez a los hacedores de lluvia, no hay más conexión entre un gen egoísta y un ser humano egoísta de la que hay entre una piedra y una nube de lluvia.

Para describir el continuo poético que estoy criticando, podría tomar prestado un verso de un poeta real, «La naturaleza de dientes y garras enrojecidos», del *In memoriam* (1850) de Tennyson, supuestamente inspirado en *El origen de las especies*, pero que en realidad se publicó nueve años antes. En un extremo del continuo poético se supone que estañan Thomas Hobbes, Adam Smith, Charles Darwin, T.H. Huxley y todos aquellos que, como el distinguido evolucionista norteamericano George C. Williams y los abogados actuales del «gen egoísta», ponen el

énfasis en las garras y dientes ensangrentados. En el otro extremo del continuo están el príncipe ruso Peter Kropotkin, anarquista y autor de *Ayuda mutua* (1902), la crédula pero inmensamente influyente antropóloga norteamericana Margaret Mead,¹ y un tropel de autores actuales que reaccionan de manera indignada ante la idea de que la naturaleza es genéticamente egoísta, y de los cuales Frans de Waal, autor de *Good Natured [Bonachones]* (1996), es un buen representante.

De Waal, un experto en chimpancés que, comprensiblemente, ama a sus animales, se disgusta ante lo que equivocadamente cree que es una tendencia neodarwinista a resaltar «el aspecto desagradable de nuestro pasado simiesco». Algunos de los que comparten su fantasía romántica se han enamorado recientemente del chimpancé pigmeo o bonobo, como modelo de conducta todavía más benigno. Allí donde los chimpancés comunes suelen recurrir a la violencia, e incluso al canibalismo, los bonobos recurren al sexo. Parecen copular en todas las combinaciones posibles y en cualquier oportunidad concebible. En aquellas situaciones en las que nosotros nos estrechamos las manos, ellos copulan. Su consigna es «Haz el amor y no la guerra». Margaret Mead se habría entusiasmado con ellos. Pero la idea misma de tomar a los animales como modelos, a la manera de los bestiarios, es una pieza de ciencia poética mala. Los animales no están aquí para ser modelos de conducta, sino para sobrevivir y reproducirse.

Los devotos moralistas del bonobo tienden a compensar este error con una falsedad evolutiva absoluta. Probablemente debido a su potente «factor de bienestar», se suele afirmar que los bonobos están más estrechamente emparentados con nosotros que los chimpancés comunes. Pero esto es imposible mientras aceptemos, como todo el mundo hace, que bonobos y chimpancés comunes están más estrechamente emparentados entre sí de lo que cualquiera de ellos lo está con la espe-

1. Debo explicar que Margaret Mead es «crédula pero influyente» porque una gran parte de la cultura académica norteamericana adoptó entusiásticamente su teoría ambientalista y rosa de la naturaleza humana, teoría que, como se demostró más tarde. Mead había construido sobre cimientos más bien inseguros, especialmente la información equívoca que sistemáticamente le suministraron, como chanza, dos traviesas muchachas samoanas durante su breve estancia en la isla. No permaneció en Samoa el tiempo suficiente para aprender bien el idioma, a diferencia de su némesis profesional, el antropólogo australiano Derek Freeman, que destapó toda la verdad años después en el curso de un estudio más detallado de la vida sa-moana. (*X del A.*)

cié humana. Basta con esta premisa sencilla y nada problemática para concluir que los bonobos y los chimpancés comunes están exactamente *igual* de emparentados con nosotros. Están conectados con nuestra especie a través del antepasado común que ellos comparten y nosotros no. Ciertamente, es posible que nos parezcamos al bonobo más que al chimpancé común en algunos aspectos (y, muy probablemente, nos parecemos más al chimpancé común en otros aspectos), pero estas comparaciones subjetivas no pueden reflejar en absoluto una cercanía evolutiva diferencial.

El libro de De Waal está lleno de demostraciones anecdóticas (que no deben sorprender a nadie) de que los animales a veces son amables con los demás, cooperan para el bien común, cuidan del bienestar de los demás, se consuelan unos a otros en la aflicción, comparten la comida y hacen otras cosas buenas y cariñosas. La posición que he adoptado siempre es que gran parte de la naturaleza animal es efectivamente altruista, cooperativa e incluso está acompañada por emociones benévolas subjetivas, pero que esto no sólo no contradice el egoísmo al nivel genético, sino que es una consecuencia del mismo. Los animales son a veces agradables y a veces desagradables, puesto que cualquiera de estos comportamientos puede ser el más conveniente para el interés propio de los genes en momentos diferentes. Ésta es, precisamente, la razón para hablar del «gen egoísta» en lugar de, pongamos por caso, el «chimpancé egoísta». La oposición que De Waal y otros han erigido entre biólogos que creen que la naturaleza humana y animal es fundamentalmente egoísta y los que creen que es fundamentalmente «bonachona» es falsa: mala poesía.

Ahora se acepta ampliamente que el altruismo al nivel del organismo individual puede ser una vía por la cual los genes subyacentes maximizan su interés egoísta. Sin embargo, no quiero extenderme en algo que ya he explicado sobradamente en *El gen egoísta* y otros libros anteriores. Lo que ahora quiero volver a resaltar de aquel libro (y que pasan por alto algunos críticos que parecen haber leído sólo el título) es el sentido importante en el que los genes, que por un lado son puramente egoístas, al mismo tiempo pueden participar en convemos cooperativos. Esto es ciencia poética, si se quiere, pero espero demostrar que es ciencia poética de la buena, la que favorece la comprensión en vez de entorpecerla. Haré lo mismo con otros ejemplos en los capítulos restantes.

La intuición clave del darwinismo puede expresarse en términos genéticos. Los genes de los que hay muchas copias en las poblaciones son aquellos que son buenos a la hora de producir copias de sí mismos, lo que significa buenos a la hora de sobrevivir. ¿Sobrevivir dónde? En cuerpos individuales dentro de ambientes ancestrales. Ello significa sobrevivir en el ambiente típico de la especie: en un desierto para los camellos, en los árboles para los monos, en el mar profundo para los calamares gigantes, y así sucesivamente. La razón principal por la que los cuerpos individuales son tan buenos a la hora de sobrevivir en sus respectivos ambientes es que han sido construidos por genes que han sobrevivido en el mismo ambiente durante muchas generaciones, en forma de copias.

Pero prescindamos de desiertos y témpanos de hielo, mares y bosques; son sólo parte de la historia. Un aspecto mucho más relevante del ambiente ancestral en el que han sobrevivido los genes es el conjunto de los otros genes con los que han tenido que compartir una sucesión de cuerpos individuales. Los genes que sobreviven en camellos, desde luego, incluirán algunos que son particularmente buenos en lo que a sobrevivir en desiertos se refiere, y puede que incluso los compartan con ratas y zorros del desierto. Pero, lo que es más importante, los genes que tienen éxito serán aquellos que son buenos a la hora de sobrevivir en un ambiente que incluye los demás genes típicos de la especie. Así, los genes de una especie son seleccionados para ser buenos en la cooperación con los demás genes. La cooperación genética, que es buena poesía científica (a diferencia de la cooperación universal) será el tema de este capítulo.

Con frecuencia no se comprende bien el hecho siguiente: no son los genes de un determinado individuo los que cooperan particularmente bien juntos. Nunca han estado antes juntos en aquella combinación, porque cada genoma en una especie de reproducción sexual es único (con la excepción usual de los gemelos idénticos). Son los genes de una especie en general los que cooperan, porque se han encontrado antes muchas veces en el ambiente íntimamente compartido de la célula, aunque siempre en combinaciones distintas. En lo que cooperan es en la tarea de construir individuos del mismo tipo general que el presente. No hay ninguna razón especial para esperar que los genes de un individuo concreto sean especialmente buenos a la hora de cooperar

entre sí cuando se comparan con cualesquiera otros genes de la misma especie. En gran parte, es accidental qué compañeros particulares ha extraído para ellos la lotería de la reproducción sexual del acervo génico de la especie. Los individuos con combinaciones desfavorables de genes tienden a morir. Los individuos con combinaciones favorables tienden a transmitir esos genes a las generaciones futuras. Pero no son las combinaciones propiamente dichas lo que se transmite a la larga. La reorganización sexual se ocupa de ello. Lo que se transmite son los genes que tienden a ser buenos a la hora de formar combinaciones favorables con los demás genes que el acervo génico de la especie puede ofrecer. A lo largo de las generaciones, con independencia de para qué otras cosas sean buenos los genes supervivientes, serán buenos para trabajar junto a otros genes de la especie.

Hasta donde sabemos, determinados genes de camello podrían ser buenos para cooperar con determinados genes de guepardo. Pero nunca se ven obligados a hacerlo. Presumiblemente, los genes de mamífero son mejores a la hora de cooperar con otros genes de mamífero que con genes de ave. Pero la especulación debe seguir siendo hipotética, porque una de las características de la vida en nuestro planeta es que, dejando aparte la ingeniería genética, los genes se mezclan sólo dentro de las especies. Podemos comprobar versiones suavizadas de tales especulaciones observando híbridos. Los híbridos entre especies distintas, si es que se dan, suelen sobrevivir peor o son menos fértiles que los individuos de raza pura. Esto se explica en parte por las incompatibilidades entre sus genes. Los genes de la especie A que funcionan bien en el entorno o «clima» genético de otros genes de la especie A, no funcionan cuando se trasplantan a la especie B, y viceversa. A veces se observan efectos similares cuando se hibridan variedades o razas dentro de una especie.

Comprendí esto por primera vez gracias a las lecciones del malogrado E.B. Ford, legendario esteta de Oxford y excéntrico fundador de la escuela de genéticas ecológicas, hoy descuidada. Ford dedicó la mayor parte de su carrera a investigar poblaciones silvestres de mariposas diurnas y nocturnas. Una de ellas es *Triphaena comes*, la polilla menor de alas amarillas. Esta polilla es normalmente de color pardo amarillento, pero hay una variante denominada *curtisii* que es negruzca. En parte alguna de Inglaterra se encuentra *curtisii*; sin em-

bargo, en Escocia y las islas (las Hébridas, Oreadas y Shetland) *curtisii* coexiste con *comes*. El color oscuro de *curtisii* es casi completamente dominante frente al diseño normal de *comes*. «Dominante frente a» es un término técnico, razón por la cual no puedo decir simplemente «domina». Significa que los individuos híbridos tienen apariencia de *curtisii* aunque porten los genes de ambas formas. Ford capturó ejemplares de la isla de Barra, en las Hébridas exteriores, al oeste de Escocia, y de una de las islas Oreadas, al norte de Escocia, así como del propio territorio escocés. Cada una de las dos formas insulares se parece exactamente a su espécimen opuesto en la otra localidad insular, y el gen *curtisii* oscuro es dominante en las dos islas, así como en Escocia. Otros indicios muestran que el gen *curtisii* es exactamente el mismo en todas las localidades. A la vista de ello, cabría esperar que, cuando se cruzaran ejemplares procedentes de distintas islas, la pauta normal de dominancia se mantuviera. Pero no es así, y éste es el meollo del asunto. Ford capturó individuos de Barra y los apareó con individuos de las Oreadas: la dominancia de *curtisii* desapareció por completo. En las familias híbridas apareció una gama completa de formas intermedias, justo lo que cabría esperar si no hubiera dominancia.

Lo que parece ocurrir es lo siguiente. El gen *curtisii* no codifica por sí mismo la fórmula para el pigmento que distingue a las polillas, ni la dominancia es siempre una propiedad de un gen por sí mismo. En cambio, como cualquier otro gen, debería pensarse que los efectos del gen *curtisii* dependen del contexto de los otros genes, algunos de los cuales son «activados» por él. Esta serie de otros genes es parte de lo que llamo «entorno» o «clima» genético. En teoría, por tanto, cualquier gen podría ejercer efectos radicalmente diferentes en distintas islas, en presencia de diferentes series de otros genes. En el caso de las polillas de Ford las cosas son un poco más complicadas, y muy esclarecedoras. El gen *curtisii* es un «gen conmutador», que parece tener el mismo efecto en Barra y las Oreadas, pero que lo consigue activando series distintas de genes en las diferentes islas. Sólo advertimos esto cuando se entrecruzan ambas poblaciones. El gen conmutador *curtisii* se encuentra en un clima genético que no es ni una cosa ni otra. Es una mezcla de genes de Barra y de genes de las Oreadas, y la pauta coloreada que cada serie, por su cuenta, podría producir se desbarata.

Lo interesante de todo esto es que tanto la mezcla de Barra como la de las Oreadas pueden componer la misma pauta coloreada. Hay más de una manera de conseguir el mismo resultado. Ambas implican series de genes cooperantes, pero hay dos series diferentes, y los miembros de cada serie no cooperan bien con los de la otra. Considero que esto es un modelo de lo que sucede entre genes funcionales dentro de cualquier acervo génico. En *El gen egoísta* utilicé la analogía del remo. Una tripulación de ocho remeros tiene que estar bien coordinada. Ocho hombres que se han entrenado juntos pueden esperar trabajar bien juntos. Pero si se mezclan cuatro hombres de una tripulación con cuatro de otra igualmente buena, la unión no cuaja: sus remadas son un desbarajuste. Esto es análogo a la mezcla de dos series de genes que funcionaban bien cuando cada cual estaba con sus compañeros previos, pero cuya coordinación se desbarata cuando se encuentran en un clima genético extraño.

Llegados a este punto, muchos biólogos se entusiasman y afirman que la selección natural debe operar al nivel de la tripulación completa como unidad, la serie total de genes, o el organismo individual entero. Es cierto que el organismo individual es una unidad muy importante en la jerarquía de la vida; y, realmente, exhibe cualidades unitarias. (Esto es menos cierto para las plantas que para los animales, que tienden a poseer un conjunto fijo de partes, todas ellas claramente parceladas dentro de una piel con una forma discreta y unitaria. Las plantas individuales² suelen ser más difíciles de delimitar por el hecho de dispersarse y propagarse vegetativamente a través de los prados y el soto-bosque.) Pero, por unitario que sea un lobo o un búfalo individual, el paquete es temporal y único. Los búfalos que tienen éxito no se duplican a sí mismos por todo el mundo en forma de copias múltiples, sino que duplican sus genes. La verdadera unidad de la selección natural debe ser una de la que se pueda decir que tiene una frecuencia, y una frecuencia que aumente cuando su tipo tenga éxito y disminuya cuando fracase. Esto es exactamente lo que puede decirse de los genes en los acervos genéticos, y no puede decirse de los búfalos individuales. Los búfalos exitosos no se hacen más frecuentes. Cada búfalo es único. Su frecuencia es de uno. Se puede definir un búfalo como exitoso si sus genes tienen una frecuencia aumentada en las poblaciones futuras.

2. Y los animales coloniales. (*N. del T.*)

Al mariscal de campo Montgomery, que nunca fue el más humilde de los hombres, se le oyó una vez decir: «Ahora bien. Dios dijo (y estoy de acuerdo con El)...». Me siento un poco así cuando pienso en la alianza de Dios con Abraham. Dios no prometió a Abraham la vida eterna como individuo (aunque Abraham sólo tenía 99 años por aquel entonces, un pimpollo según las pautas del Génesis). Pero le promeüó otra cosa.

Yo haré contigo mi alianza, y te multiplicaré muy grandemente... y te haré padre de una muchedumbre de pueblos... Te acrecentaré muy mucho, y te daré pueblos, y saldrán de ti reyes.

Génesis, 17

Abraham no tuvo ninguna duda de que el futuro residía en su simiente, no en su individualidad. Dios conocía su darwinismo.

En resumen, lo que estoy diciendo es que los genes, a pesar de que son las unidades separadas que son objeto de selección natural en el proceso darwiniano, son altamente cooperativos. La selección favorece o desfavorece a genes concretos por su capacidad de sobrevivir en su ambiente, pero la parte más importante de ese ambiente es el clima genético proporcionado por otros genes. La consecuencia es que las series cooperativas de genes se encuentran juntas en los acervos genéticos. Los cuerpos individuales son unitarios y coherentes no porque la selección natural los escoja como unidades, sino porque están constituidos por genes que han sido seleccionados para cooperar con otros miembros de su acervo genético. Cooperan específicamente en la empresa de construir cuerpos individuales. Pero se trata de un tipo de cooperación anárquica, en la que cada gen actúa en beneficio propio.

La cooperación, efectivamente, se deshace siempre que surge la oportunidad, como en los denominados genes «distorsionadores de segregación». En los ratones existe un gen denominado *t*. En dosis doble, el gen *t* causa esterilidad o muerte, por lo que debe existir una fuerte selección natural en contra suya. Pero en dosis sencilla tiene un efecto muy extraño. Normalmente, cada copia de un gen debería encontrarse en un 50 por ciento de los espermatozoides que produce un macho. Yo tengo los ojos pardos como mi madre, pero mi padre los tiene azules, de modo que sé que soy portador de una copia del gen para ojos azu-

les y el 50 por ciento de ñus espermatozoides portan el gen para ojos azules. En los ratones machos, *t* no se comporta de esta manera ordenada. Más del 90 por ciento de los espermatozoides de un macho afectado contienen el gen *t*. Lo que hace *t* es distorsionar la producción de espermatozoides. Y es fácil ver que, a pesar de la letalidad de la dosis doble, una vez surge *t* en una población de ratones, tenderá a propagarse gracias a su enorme habilidad para introducirse en los espermatozoides. Se ha sugerido que en las poblaciones salvajes de ratones surgen brotes de *t*, se propagan como una especie de cáncer poblacional y acaban provocando la extinción de la población local. El gen *t* es una ilustración de lo que puede suceder cuando se desbarata la cooperación entre genes. «La excepción que confirma la regla» suele ser una expresión bastante tonta, pero ésta es una de esas raras ocasiones en que es adecuada.

Repitémoslo: las principales series de genes cooperantes son los acervos genéticos completos de las especies. Los genes de guepardo cooperan con genes de guepardo pero no con genes de camello, y viceversa. Ello no se debe a que los genes de guepardo, incluso en el sentido más poético, vean ninguna virtud en la preservación del guepardo como especie. No están trabajando para salvar al guepardo de la extinción como si de algún Fondo Mundial para la Naturaleza molecular se tratara. Simplemente, sobreviven en su ambiente, y éste está constituido en gran parte por otros genes del acervo genético del guepardo. Por ello, la capacidad para cooperar con otros genes de guepardo (pero no con genes de camello o de bacalao) es una de las muchas cualidades que se ven favorecidas en la lucha entre genes rivales de guepardo. Del mismo modo que, en los climas árticos, los genes para resistir el frío se hacen predominantes, en el acervo genético del guepardo predominan los genes que están equipados para medrar en el clima de otros genes de guepardo. En lo que concierne a cada gen, los demás genes de su acervo genético son sólo otro aspecto del entorno.

El nivel al que los genes constituyen un «clima» para los demás está en gran parte inmerso en la química celular. Los genes codifican la producción de enzimas, moléculas proteínicas que funcionan como máquinas que producen un determinado componente en una cadena de producción química. Existen rutas químicas alternativas con el mismo fin, lo que supone cadenas de producción alternativas. Puede que no

sea realmente importante cuál de las dos cadenas de producción se adopte, mientras la célula no intente quedarse con una combinación de ambas. Cualquiera de las dos cadenas de producción puede ser igualmente buena, pero los productos intermedios que rinde la cadena de producción A no pueden ser utilizados por la cadena de producción B, y viceversa. De nuevo, resulta tentador decir que toda la cadena de producción se selecciona en bloque. Esto es erróneo. Lo que es objeto de selección natural es cada gen concreto, dentro del fondo o clima proporcionado por todos los demás genes. Si resulta que la población está dominada por genes para todos los pasos menos uno de la cadena de producción A, esto constituye un clima químico que favorece al gen para el paso ausente en A. Y al revés, un clima preexistente de genes B favorece a los genes B sobre los genes A. No estamos hablando de cuál es «mejor», como si hubiera una especie de competencia entre la cadena de producción A y la cadena de producción B. Lo que estamos diciendo es que cualquiera de las dos es adecuada, pero que una mezcla de ambas es inestable. La población posee dos climas estables alternativos de genes que cooperan mutuamente, y la selección natural tenderá a conducir a la población hacia aquel de los dos estados estables del que se encuentre ya más cerca.

Pero no tenemos por qué hablar de bioquímica. Podemos utilizar la metáfora del clima genético al nivel de los órganos y del comportamiento. Un guepardo es una máquina de matar magníficamente integrada, equipada con patas largas y musculosas y una espina dorsal que se dobla sinuosamente para vencer en la carrera a las presas, mandíbulas potentes y dientes afilados para acuchillarlas, ojos frontales para divisar las presas, tubo digestivo corto con los enzimas apropiados para digerirlas, cerebro preprogramado con las pautas comportamentales de un carnívoro, y gran cantidad de otros rasgos que hacen del guepardo un cazador típico. Al otro lado de la carrera armamentista, los antílopes están igualmente bien equipados para comer plantas y evitar ser capturados por los depredadores. Tubo digestivo largo, complicado con sacos llenos de bacterias que digieren la celulosa, acompañado de dientes trituradores planos, que armonizan con un cerebro preprogramado para la alarma y la huida rápida, más una piel moteada que constituye un camuflaje exquisito. Éstas son dos maneras alternativas de ganarse la vida. Ninguna de las dos es obviamente mejor que la otra,

pero cualquiera de ellas es mejor que un compromiso incómodo: tubo digestivo de carnívoro combinado con dientes de herbívoro, pongamos por caso, o instintos de persecución de carnívoro combinados con enzimas digestivos de herbívoro.

De nuevo, resulta tentador decir que el «guepardo entero» o «el antílope entero» se seleccionan «como una unidad». Tentador, pero superficial. Y también perezoso. Se precisa cierto trabajo intelectual adicional para ver qué sucede en realidad. Los genes que programan el desarrollo del tubo digestivo de un carnívoro florecen en un clima genético que ya está dominado por genes que programan el cerebro de un carnívoro. Y viceversa. Los genes que programan un camuflaje defensivo prosperan en un clima genético que está dominado ya por genes que programan dientes de herbívoro. Y viceversa. Existen muchísimas maneras de ganarse la vida. Para mencionar sólo unos cuantos ejemplos entre los mamíferos, está la manera del guepardo, la manera del impala, la manera del topo, la manera del papión, la manera del koala. No hay ninguna necesidad de decir que una manera es mejor que cualquier otra. Todas ellas funcionan. Lo que es malo es tener una mitad de las adaptaciones orientada a una manera de vivir, y la otra mitad a otra.

Este tipo de razonamiento se expresa mejor al nivel de los genes separados. En cada locus genético, el gen que tiene más probabilidades de ser favorecido es el que es más compatible con el clima genético que crean los demás, el que sobrevive en este clima a lo largo de repetidas generaciones. Puesto que esto es aplicable a cada uno de los genes que constituyen el clima (puesto que cada gen es, en potencia, parte del clima de cualquier otro), el resultado es que el acervo genético de una especie tiende a coalescer en un grupo de socios mutuamente compatibles. Lamento insistir en este aspecto, pero algunos de mis respetados colegas rehusan comprenderlo, e insisten obstinadamente en que el «individuo» es la «verdadera» unidad de la selección natural.

De manera más amplia, el ambiente en el que debe sobrevivir un gen incluye las demás especies con las que entra en contacto. El ADN de una determinada especie no entra literalmente en contacto con las moléculas de ADN de sus depredadores, competidores o socios mutualistas. El «clima» debe entenderse de manera menos íntima que en la cooperación genética dentro de las células, como en el caso de los ge-

nes de una especie. En este escenario más amplio, una parte importante del ambiente en el que se produce la selección natural la constituyen las *consecuencias* de los genes sobre otras especies, sus «efectos fenotípicos». Una pluvisilva es un tipo especial de ambiente, modelado y definido por las plantas y los animales que viven en él. Todas y cada una de las especies de una pluvisilva tropical constituyen un acervo genético, aislado de los demás en lo que a mezcla sexual se refiere, pero en contacto con sus efectos corporales.

Dentro de cada uno de estos acervos genéticos separados, la selección natural favorece aquellos genes que cooperan con su propio acervo genético, como hemos visto. Pero también favorece aquellos genes buenos para sobrevivir junto a las consecuencias de otros acervos genéticos en la selva tropical: árboles, lianas, monos, escarabajos peloteros, cochinillas y bacterias del suelo. A la larga, esto puede hacer que la selva entera parezca un todo único y armonioso, en el que cada unidad opera en beneficio de todas, de cada uno de los árboles y ácaros del suelo, incluso de todos los depredadores y de todos los parásitos, y desempeñan su papel en una familia grande y feliz. De nuevo, ésta es una manera tentadora de verlo. De nuevo, es una manera perezosa: ciencia poética mala. Una visión mucho más veraz, todavía ciencia poética pero (el propósito de este capítulo es convencer de ello al lector) ciencia poética *buen*a, considera la selva como una federación anarquista de genes egoístas, cada uno seleccionado por su aptitud para sobrevivir dentro de su propio acervo genético respecto del fondo ambiental que proporcionan todos los demás.

Sí, en un cierto sentido aguado los organismos de una pluvisilva realizan un servicio valioso para otras especies, e incluso para el mantenimiento de toda la comunidad selvática. Ciertamente, si se eliminaran todas las bacterias del suelo, las consecuencias para los árboles y, en último término, para la mayor parte de la vida en la selva, serían calamitosas. Pero ésta no es la razón por la que las bacterias del suelo están allí. Sí, desde luego, descomponen las hojas muertas, los animales muertos y el estiércol en humus, que es útil para la prosperidad continuada de toda la selva. Pero no lo hacen para fabricar humus. Utilizan las hojas y los animales muertos como alimento para sí mismas, para el bien de los genes que programan sus actividades de producción de humus. Una consecuencia fortuita de esta actividad egoísta es que el

suelo mejora desde el punto de vista de las plantas y, por lo tanto, de los herbívoros que las comen y, por lo tanto, de los carnívoros que cazan a los herbívoros. Las especies de una comunidad de pluvisilva prosperan en presencia de las demás especies de aquella comunidad porque la comunidad es el ambiente en el que sus antepasados sobrevivieron. Quizás haya plantas que medren en ausencia de un rico cultivo de bacterias del suelo, pero no son éstas las plantas que encontraremos en una pluvisilva. Es más probable que las encontremos en un desierto.

Ésta es la manera adecuada de manejar la tentación de «Gaia», la sobreestimada fantasía romántica de que el planeta entero es un organismo; de que cada especie aporta su grano de arena para el bienestar del conjunto; de que las bacterias, por ejemplo, operan para mejorar el contenido gaseoso de la atmósfera terrestre para el bien de la biosfera entera. El ejemplo más extremo que conozco de este tipo de ciencia poética mala procede de un famoso y veterano ecologista. Me lo ofreció el profesor John Maynard Smith, quien asistía a una conferencia auspiciada por la Open University en Inglaterra. La conversación derivó hacia la extinción en masa de los dinosaurios y si esta catástrofe fue causada por una colisión cometaria. El barbudo ecologista no tenía duda alguna: «Pues claro que no», dijo de manera terminante, «¡Gaia no lo hubiera permitido!».

Gaia era la diosa griega de la Tierra cuyo nombre ha adoptado James Lovelock, un químico atmosférico e inventor inglés, para personificar su noción poética de que todo el planeta debiera considerarse como un único ser vivo. Todos los seres vivos forman parte del cuerpo de Gaia y operan conjuntamente como un termostato bien ajustado, reaccionando a las perturbaciones de manera que preservan la vida en su totalidad. Lovelock reconoce que lo ponen en apuros aquellos que, como el ecologista al que acabo de citar, se toman su idea demasiado al pie de la letra. Gaia se ha convertido en un culto, casi una religión, y es comprensible que Lovelock quiera ahora distanciarse de ella. Pero algunas de sus primeras sugerencias, cuando se medita sobre ellas, apenas son más realistas. Por ejemplo, propuso que las bacterias producen metano por el valioso papel que este gas desempeña en la regulación de la química de la atmósfera terrestre.

El problema con esto es que se pide a cada bacteria individual que sea más amable de lo que la selección natural puede explicar. Se pre-



tende que las bacterias producen metano más allá de sus propias necesidades. Se espera que produzcan suficiente metano para beneficiar al planeta en general. Es inútil argumentar que esto favorece sus intereses a largo plazo, porque si el planeta se extingue también lo harán ellas. La selección natural no es nunca consciente del futuro a largo plazo. No es consciente de nada. Las mejoras se producen no por previsión, sino porque ciertos genes terminan superando a sus rivales en los acervos genéticos. Por desgracia, los genes que hacen que las bacterias rebeldes se acomoden y gocen de los beneficios de la producción altruista de metano por parte de sus rivales están destinados a prosperar a expensas de los altruistas. De manera que el mundo acabará siendo ocupado por un número relativamente mayor de bacterias egoístas. Ello continuará incluso si, debido a su egoísmo, el número total de bacterias (y de todo lo demás) disminuye. Continuará hasta el punto de la extinción. ¿Cómo habría de ser de otro modo? No existe previsión.

Si Lovelock replicara que las bacterias producen metano como un subproducto de alguna otra cosa que hacen por su propio beneficio, y que sólo fortuitamente es útil para el mundo, yo estaría sinceramente de acuerdo con él. Pero en tal caso toda la retórica de Gaia es superflua y engañosa. No es necesario decir que las bacterias trabajan para el bien de nada que no sea su propio beneficio genético a corto plazo. Nos quedamos con la conclusión de que los individuos sólo trabajan para Gaia cuando les conviene hacerlo, de modo que ¿por qué introducir Gaia en la discusión? Es mucho mejor pensar en términos de genes, que son las unidades autorreplicantes reales de la selección natural, que prosperan en un ambiente que incluye el clima genético que crean los demás genes. Me parece muy bien generalizar la noción de clima genético para incluir a todos los genes del mundo entero. Pero esto no es Gaia. Gaia centra falsamente la atención en la vida planetaria como una unidad particular. La vida planetaria es una pauta cambiante de clima genético.

La principal compañera de armas de Lovelock en tanto que defensora de Gaia es la bacterióloga americana Lynn Margulis. A pesar de su carácter beligerante, se sitúa a sí misma firmemente en el lado amable del continuo que estoy atacando como ciencia poética mala. Así escribe, junto con su hijo Dorion Sagan:

Además, la visión de la evolución como una lucha crónica y sangüinaria entre individuos y especies, distorsión popular de la idea darwiniana de la «supervivencia de los mejor adaptados», se desvanece con la nueva imagen de cooperación continua, estrecha interacción y mutua dependencia entre formas de vida. La vida no ocupó la Tierra tras un combate, sino extendiendo una red de colaboración por su superficie. Las formas de vida se multiplicaron y se hicieron cada vez más complejas, integrándose con otras en vez de hacerlas desaparecer.

Microcosmos: Cuatro mil millones de años de evolución microbiana (1987)

En un sentido superficial, Margulis y Sagan no van demasiado desencaminados. Pero la ciencia poética mala les lleva a expresar mal la idea. Como señalé al principio de este capítulo, la oposición «combate contra cooperación» no es la dicotomía que hay que resaltar. Existe un conflicto fundamental al nivel genético. Pero puesto que los ambientes de los genes están dominados por otros genes, la cooperación y la «formación de redes» surgen de manera automática como una manifestación preferente de dicho conflicto.

Mientras que Lovelock es un estudioso de la atmósfera terrestre, el enfoque de Margulis es eminentemente microbiológico. Margulis otorga adecuadamente a las bacterias el papel central entre las formas de vida de nuestro planeta. En el nivel bioquímico, hay toda una serie de maneras fundamentales de ganarse la vida, que son practicadas por un tipo u otro de bacterias. Una de estas recetas vitales básicas ha sido adoptada por los eucariotas (es decir, todos los organismos que no son bacterias), y la tomamos prestada de las bacterias. Durante muchos años Margulis ha razonado, con éxito, que la mayor parte de nuestra bioquímica la realizan para nosotros lo que antaño fueron bacterias libres que ahora viven en el interior de nuestras células. He aquí otra cita del mismo libro de Margulis y Sagan.

Las bacterias, en cambio, exhiben una gama de variaciones meta-bólicas mucho más amplia que los eucariotas. Se dedican a fermentaciones extravagantes, producen metano, «comen» nitrógeno directamente del aire, obtienen energía de los glóbulos de azufre,

precipitan hierro y manganeso mientras respiran, queman hidrógeno para producir agua, crecen en agua hirviendo y en salmuera, almacenan energía mediante el pigmento púrpura rodopsina, y así sucesivamente... Sin embargo, nosotros sólo utilizamos uno de sus muchos diseños metabólicos para la producción de energía, a saber, el de la respiración aeróbica, que es la especialidad de las mitocondrias.

La respiración aeróbica, un complicado conjunto de cadenas y ciclos bioquímicos mediante el cual la energía captada del sol es liberada de las moléculas orgánicas, se realiza en las mitocondrias, los diminutos orgánulos que bullen en el interior de nuestras células. Margulis ha convencido al mundo científico, pienso que acertadamente, de que las mitocondrias descienden de bacterias. Los antepasados de las mitocondrias de vida libre desarrollaron el conjunto de trucos bioquímicos que llamamos respiración aeróbica. Hoy los eucariotas nos beneficiamos de esta hechicería química avanzada porque nuestras células contienen los descendientes de las bacterias que la descubrieron. Según esta hipótesis, la línea genealógica de las mitocondrias se remonta a bacterias marinas ancestrales de vida libre. Cuando hablo de «línea genealógica» quiero decir, literalmente, que una célula bacteriana de vida libre se dividió en dos, y al menos una de estas dos se dividió en dos, y al menos una de estas dos se dividió en dos, y así sucesivamente hasta que llegamos a todas y cada una de nuestras mitocondrias, que continúan dividiéndose en nuestras células.

Margulis cree que las mitocondrias fueron originalmente parásitos (o depredadores; la distinción no es importante a este nivel) que atacaban a las bacterias mayores que estaban destinadas a proporcionar la cubierta de la célula eucariota. Existen todavía algunos parásitos bacterianos que excavan la pared celular de la presa y después, cuando se encuentran seguros en su interior, sellan el agujero y se comen la célula desde dentro. Los antepasados mitocondriales, según la teoría, evolucionaron de parásitos que matan a parásitos menos virulentos que mantienen a su huésped vivo para explotarlo durante más tiempo. Más tarde aún, las células del huésped empezaron a beneficiarse de las actividades metabólicas de las protomitocondrias. La relación pasó de depredadora o parásita (buena para una parte, mala para la otra) a mutua-

lista (buena para ambas). A medida que el mutualismo se intensificaba, cada parte se hizo más dependiente de la otra, y cada una acabó perdiendo aquellos fragmentos de sí misma cuyos cometidos estaban mejor servidos por la otra.

En un mundo darwiniano, esta cooperación íntima y delicada evoluciona sólo cuando el ADN del parásito se transmite «longitudinalmente» a las sucesivas generaciones del huésped en los mismos vehículos que el ADN del huésped. Hasta el día de hoy, nuestras mitocondrias poseen todavía su propio ADN, que está emparentado con nuestro «propio» ADN sólo lejanamente y tiene un parentesco más cercano con el de ciertas bacterias. Pero es transmitido a las generaciones sucesivas humanas por los óvulos humanos. Los parásitos cuyo ADN se transmite longitudinalmente como éste (es decir, del progenitor patrón al progenitor hijo) se tornan menos virulentos y más cooperativos, porque todo lo que sea bueno para la supervivencia del ADN del huésped tiende automáticamente a ser bueno para la supervivencia de su propio ADN. Los parásitos cuyo ADN se transmite «horizontalmente» (de un huésped a algún otro huésped que no tiene por qué ser descendiente del anterior), como los virus de la rabia o de la gripe, pueden hacerse aún más virulentos. Si el ADN debe transmitirse horizontalmente, puede que la muerte del huésped no sea indeseable. Un caso extremo pudiera ser un parásito que se alimenta en el interior de un huésped individual, transformando su carne en esporas hasta que finalmente revienta, esparciendo el ADN parásito a los cuatro vientos.

Las mitocondrias son especialistas longitudinales extremos. Su relación con las células del huésped se ha hecho tan íntima que nos resulta difícil reconocer que en algún momento estuvieron separadas. Mi colega de Oxford Sir David Smith ha encontrado un símil perfecto:

En el habitat celular, un organismo invasor puede perder progresivamente fragmentos de sí mismo, mezclándose lentamente con el trasfondo general, y con su existencia anterior delatada sólo por alguna reliquia. En realidad, uno recuerda el encuentro de Alica en el País de las Maravillas con el gato de Cheshire. Mientras Alicia miraba, «se desvaneció muy paulatinamente, empezando por la punta

de la cola y terminando por la sonrisa, que permaneció flotando en el aire un rato después de haber desaparecido todo el resto».³ Hay muchos objetos celulares que son como la sonrisa del gato de Cheshire. Para aquellos que intentan encontrar su origen, la sonrisa es estimulante y realmente enigmática.

The Cell as a Habitat [La célula como habitat] (1979)

No encuentro ninguna distinción importante entre la relación existente entre el ADN mitocondrial y el ADN huésped y la que hay entre dos genes pertenecientes al acervo genético «propio» de una especie. He argumentado que todos nuestros genes «propios» deberían considerarse mutuamente parásitos unos de otros.

La otra reliquia sonriente hoy incontrovertible es el cloroplasto. Los cloroplastos son orgánulos de las células vegetales que se encargan de la fotosíntesis, almacenando energía solar para la síntesis de moléculas orgánicas. Después estas moléculas orgánicas pueden descomponerse para liberar controladamente la energía cuando se la necesita. Los cloroplastos son responsables del color verde de las plantas. Hoy en día se acepta que descienden de bacterias fotosintéticas, primas de las bacterias «verdiazules» que en la actualidad todavía flotan libremente y son responsables de «floraciones» en aguas contaminadas. El proceso de la fotosíntesis es el mismo en estas bacterias y (en los cloroplastos de) los eucariotas. Los cloroplastos, según Margulis, no fueron capturados de la misma manera que las mitocondrias. Mientras que los antepasados de las mitocondrias invadieron agresivamente huéspedes más grandes, los antepasados de los cloroplastos eran presas, originalmente englobadas como alimento, que sólo más tarde desarrollaron una relación mutualista con sus captosres, sin duda porque, de nuevo, su ADN se acabó transmitiendo longitudinalmente a las generaciones sucesivas de huéspedes.

Más controvertida es la creencia de Margulis de que otro tipo de bacterias, las espiroquetas, de movimientos espirales, invadieron las células eucariotas primitivas y aportaron estructuras móviles tales como los cilios, los flagelos y los «husos» que tiran de los cromosomas para separarlos en la división celular. Cilios y flagelos son sólo

3. Citamos según la versión española de Jaime Ojeda, Alianza Editorial, Madrid, 1970. (*N. del T.*)

versiones de tamaño distinto de las mismas estructuras, y Margulis prefiere llamar a ambos «undulipodios». Esta investigadora reserva el nombre de flagelo para la estructura flageliforme, muy similar superficialmente pero en realidad muy distinta, que algunas bacterias utilizan para propulsarse con un movimiento de canaleta («helicoidal» sería un término más apropiado). Incidentalmente, el flagelo bacteriano es notable porque posee el único cojinete rotatorio propiamente dicho del mundo vivo. Es el único ejemplo importante de «rueda» en la naturaleza, o al menos de eje, antes de que los seres humanos lo reinventaran. Los cilios y demás undulipodios de los eucariotas son más complicados. Margulis identifica cada undulipodio individual con una espiroqueta completa, igual que identifica cada mitocondria y cada cloroplasto con una bacteria completa.

La idea de cooptar bacterias para que realicen algún truco bioquímico difícil ha resurgido con frecuencia en la evolución más reciente. Los peces abisales poseen órganos luminosos, pero, en lugar de emprender la difícil tarea química de producir luz, han cooptado bacterias especializadas en esta tarea. El órgano luminoso de un pez es un saco de bacterias cuidadosamente cultivadas, que producen luz como subproducto de sus propias actividades bioquímicas.

Tenemos así una forma completamente nueva de contemplar al organismo individual. Los animales y las plantas no sólo participan en complicadas redes de interacciones mutuas con individuos de su misma especie y de otras, dentro de poblaciones y comunidades tales como una pluvisilva tropical o un arrecife de coral, sino que cada animal o planta individual *es* una comunidad de miles de millones de células, cada una de las cuales es a su vez una comunidad de bacterias. Yo iría aun más lejos y diría que incluso los genes «propios» de una especie son una comunidad de cooperadores egoístas. Aquí podemos dejarnos tentar por otra clase de ciencia poética, la poesía de la jerarquía. Hay unidades dentro de otras unidades mayores, no ya al nivel del organismo individual, sino incluso a niveles superiores, pues los organismos viven en comunidades. ¿Acaso no hay, en cada nivel de la jerarquía, cooperación simbiótica entre las unidades del nivel inferior, unidades que en otro tiempo fueron independientes?

En todo esto hay mucho de verdad. Los termites se ganan muy bien la vida comiendo madera y productos derivados de la madera (libros,

por ejemplo). Pero, de nuevo, los trucos químicos necesarios no se desarrollan de manera natural en las células de los termes. Así como la célula eucariota debe tomar prestados los talentos bioquímicos de las mitocondrias, el tubo digestivo de los termes, por sí solo, no puede digerir la madera. Depende de microorganismos simbióticos para realizar la tarea de digerir la madera. El propio terme vive de los microorganismos y sus excreciones. Estos microorganismos son seres extraños y especializados, que en su mayoría no se encuentran en ninguna otra parte del mundo a no ser en el tubo digestivo de su propia especie de terme. Dependen de los termes (que encuentran la madera y la desmenuzan en pequeños fragmentos) tanto como los termes dependen de ellos (para descomponerlos en fragmentos moleculares todavía más pequeños, mediante enzimas que los propios termes no pueden producir). Algunos de estos microorganismos son bacterias, otros son protozoos (eucariotas unicelulares) y otros son una fascinante mezcla de ambos. Fascinante porque se trata de un tipo de *deja vu* evolutivo que añade una gran plausibilidad a la especulación de Margulis.

Mixotricha paradoxa es un protozoo flagelado que vive en el tubo digestivo del terme australiano *Mastotermes darwiniensis*. Este protozoo posee cuatro cilios grandes en posición anterior. Margulis afirma que estas estructuras derivan de espiroquetas simbiotes ancestrales. Esto es discutible, pero existe un segundo tipo de extensiones pequeñas, ondulantes, piliformes, que no dejan lugar a dudas. Recubren el resto del cuerpo y parecen cilios, como los que baten rítmicamente para hacer que los óvulos se deslicen por los oviductos. Pero no son cilios. Cada uno de ellos (y hay alrededor de medio millón) es una minúscula espiroqueta, una bacteria. En realidad, hay implicados dos tipos de espiroqueta bastante distintos. Son estas bacterias ondulantes las que, batiendo al unísono, impulsan a *Mixotricha* por todo el tubo digestivo del terme. Ello parece difícil de creer hasta que uno descubre que el movimiento de cada elemento puede ser provocado por el de sus vecinos inmediatos.

Los cuatro cilios grandes de la parte anterior parecen servir sólo como timones. Podemos describirlos como «propios», para distinguirlos de las espiroquetas que tapizan el resto del cuerpo. Pero, desde luego, si Margulis tiene razón, no son más propios de *Mixotricha* que las espiroquetas: representan sencillamente una invasión más antigua.

El *deja vu* estriba en la nueva representación, por otras espiroquetas, de un drama que se representó por vez primera hace mil millones de años. *Mixotricha* no puede respirar oxígeno porque en el tubo digestivo del terme este gas es escaso. Si no fuera así, podemos estar seguros de que tendrían mitocondrias en su interior, reliquias de otra antigua oleada de invasión bacteriana. Pero, en cualquier caso, *sí* que poseen otras bacterias simbióticas internas que probablemente desempeñan un papel parecido al de las mitocondrias, quizás asistiendo en la difícil tarea de digerir la madera.

Así pues, un único individuo de *Mixotricha* es una colonia que contiene al menos medio millón de bacterias simbiotes de varios tipos. Desde un punto de vista funcional, en tanto que máquina de digerir celulosa, un único terme es una colonia igualmente numerosa de microorganismos simbióticos en su tubo digestivo. No se olvide que, aparte de los invasores «recientes» de su flora digestiva, las células «propias» de un terme, como las de cualquier otro animal, son en sí mismas colonias de bacterias mucho más antiguas. Finalmente, los termes mismos son bastante especiales, en el sentido de que viven en colonias numerosísimas de obreras en su mayor parte estériles que saquean el terreno más eficientemente que casi cualquier otro tipo de animal, excepto las hormigas (cuyo éxito se explica por la misma razón). Las colonias de *Mastotermes* pueden contener hasta un millón de obreras. La especie es una plaga voraz en Australia, donde devora postes de teléfono, el forro plástico de los cables eléctricos, edificios y puentes de madera, y hasta bolas de billar. Ser una colonia de colomas de colonias parece ser una receta exitosa para la vida.

Quiero volver al punto de vista genético y plantear la idea de la simbiosis («vivir juntos») universal hasta su conclusión última. Margulis es considerada por derecho propio la gran sacerdotisa de la simbiosis. Como ya he dicho, yo iría incluso más allá y consideraría que todos los genes nucleares «normales» son simbióticos en el mismo sentido que los genes mitocondriales. Pero allí donde Margulis y Lovelock invocan la poesía de la cooperación y la concordia como base de esta unión, yo quiero hacer lo contrario. Para mí la simbiosis es una consecuencia secundaria. Al nivel genético todo es egoísmo, pero los fines egoístas de los genes se satisfacen mediante la cooperación a muchos niveles. En lo que respecta a los genes, las relaciones

entre nuestros genes «propios» no son, en principio, diferentes de las relaciones entre genes nucleares y genes mitocondriales, o entre nuestros genes y los de otras especies. Todos los genes se seleccionan por su capacidad de prosperar en presencia de otros genes (de cualquier especie) cuyas consecuencias constituyen su entorno.

La colaboración dentro de acervos genéticos para producir cuerpos complejos suele denominarse coadaptación, término distinto del de coevolución. Coadaptación se refiere por lo general al ajuste mutuo de las distintas partes de un mismo organismo a las otras partes. Por ejemplo, muchas flores poseen a la vez un color brillante para atraer a los insectos y líneas oscuras que actúan como guías de aterrizaje para conducir a los insectos al néctar. El color, las líneas y los nectarios se ayudan mutuamente. Están mutuamente coadaptados, y cada uno de los genes responsables se selecciona en presencia de los otros. El término coevolución suele reservarse para la evolución mutua de especies distintas. Las flores y los insectos que las polinizan evolucionan juntos, es decir, coevolucionan. En este caso, la relación coevolutiva es mutuamente beneficiosa. El término coevolución se refiere asimismo a una evolución mutua de carácter hostil: las «carreras de armamentos» co-evolutivas. La carrera de alta velocidad en los depredadores coevoluciona con la carrera de alta velocidad en sus presas. Las corazas gruesas coevolucionan con las armas y técnicas destinadas a penetrarlas.

Aunque acabo de hacer una clara distinción entre la coadaptación «intraespecífica» y la coevolución «interespecífica», es perdonable que haya cierta confusión. Si adoptamos el punto de vista que estoy defendiendo de que las interacciones génicas son sólo interacciones génicas, a cualquier nivel, entonces la coadaptación es sólo un caso especial de coevolución. En lo concerniente a los genes, «intraespecífico» no es fundamentalmente distinto de «interespecífico». Las diferencias son de orden práctico. Dentro de una especie, los genes coinciden con sus compañeros en el medio celular. Entre especies, sus consecuencias externas pueden coincidir con las consecuencias de otros genes en el mundo exterior. Los casos intermedios, como los parásitos íntimos y las mitocondrias, son reveladores porque difuminan la distinción.

Los escépticos de la selección natural a veces se devanan los sesos con el siguiente razonamiento: la selección natural, dicen, es un proceso meramente negativo, porque se limita a eliminar a los no adapta-

dos. ¿De qué modo una escarda negativa de este tipo puede desempeñar el papel *positivo* de construir una adaptación compleja? Una gran parte de la respuesta reside en una combinación de coevolución y coadaptación, dos procesos que, como acabamos de ver, no están muy alejados uno del otro.

La coevolución, como una carrera de armamentos humana, es una fórmula para el establecimiento progresivo de mejoras (me refiero a un incremento de la eficiencia; es evidente que, desde el punto de vista humano, la idea de «mejora» es más que dudosa cuando se trata de armamento). Si los depredadores realizan mejor su tarea, las presas deben mejorar sólo para seguir en el mismo sitio; y viceversa. Lo mismo vale para parásitos y huéspedes. La escalada genera más escalada. Ello conduce a una mejora progresiva real en el equipamiento para la supervivencia, aunque no conduzca necesariamente a la mejora de la propia supervivencia (porque, después de todo, la otra parte también mejora). Así, la coevolución (las carreras de armamentos, la evolución mutua de genes en distintos acervos genéticos) es una respuesta al escéptico que piensa que la selección natural es un proceso puramente negativo.

La otra respuesta es la coadaptación, la evolución mutua de genes dentro del *mismo* acervo genético. En el acervo genético del guepardo, los dientes de carnívoro funcionan mejor asociados a un tubo digestivo de carnívoro y hábitos de carnívoro. Los dientes, tubo digestivo y hábitos de herbívoro forman un complejo alternativo en el acervo genético de un antílope. Al nivel de los genes, como hemos visto, la selección ensambla complejos armoniosos, *no* mediante la elección de complejos enteros, sino favoreciendo cada parte del complejo dentro de acervos genéticos ya dominados por otras partes del complejo. En el equilibrio cambiante de los acervos genéticos puede existir más de una solución estable al mismo problema. Una vez un acervo genético empieza a estar dominado por una solución estable, la selección ulterior de genes egoístas favorece los ingredientes de la misma solución. La otra solución podría haber sido favorecida igualmente si las condiciones iniciales hubieran sido distintas. En cualquier caso, la objeción de los escépticos de que la selección natural es un proceso negativo y puramente sustractivo queda desarmada. La selección natural es positiva y constructiva. No es más negativa que un escultor que sustrae mármol de un bloque. A partir de acervos genéticos, cincela complejos de ge-

nes coadaptados y mutuamente interactivos, fundamentalmente egoístas, pero pragmáticamente cooperativos. La unidad que el escultor darwiniano esculpe es el acervo genético de una especie.

En el último par de capítulos he dedicado cierto espacio a advertir de la mala poesía en la ciencia. Pero el balance final de este libro es lo contrario. La ciencia es poética, tiene que serlo, tiene mucho que aprender de los poetas y debería poner a su servicio las imágenes y metáforas poéticas inspiradoras. «El gen egoísta» es una imagen metafórica, una imagen potencialmente buena pero capaz de producir tristes equívocos si la metáfora de la personificación se malinterpreta. Si se interpreta correctamente nos puede conducir a rutas de comprensión profunda y de investigación fértil. Este capítulo ha utilizado la metáfora del gen personificado para explicar un sentido en el que los genes «egoístas» son a la vez «cooperativos». La imagen clave que flotará en el próximo capítulo es la de los genes de una especie en tanto que *descripción* detallada del conjunto de ambientes en los que vivieron sus antepasados: un libro genético de los muertos.

10 El libro genético de los muertos

Recuerda la sabiduría de los viejos días...'

W.B. Yeats, *The Wind Among the Reeds* [*El viento entre los carritos*] (1899)

La primera redacción escolar que puedo recordar llevaba por título «El diario de un penique». Uno tenía que imaginar que era una moneda y contar su historia, de cómo pasó cierto tiempo en un banco hasta que fue entregada a un cliente, cómo sinüó el tintineo de las demás monedas en el bolsillo, cómo fue entregada en pago de alguna compra, cómo fue entregada a otro cliente como cambio, y después... bueno, seguro que el lector escribió también una redacción similar alguna vez. Es útil pensar del mismo modo en un gen que viaja no de un bolsillo a otro, sino de un cuerpo a otro a través de las generaciones. El primer punto que la analogía de la moneda deja claro es que, *por supuesto*, no hay que tomar la personificación del gen al pie de la letra, del mismo modo que cuando teníamos siete años de edad no pensábamos que nuestras monedas pudieran hablar. La personificación es a veces un artificio útil, y el que algunos críticos nos acusen de tomarla al pie de la letra es casi tan estúpido como el hecho mismo de tomar la personificación al pie de la letra. Los físicos no están literalmente «encantados» por sus partículas, y el crítico que les acusara de ello sería un fastidioso pedante.

Llamamos «acuñación» de un gen a la mutación que lo hizo nacer por alteración de un gen previo. Sólo una de las muchas copias de un gen en la población se modifica (por un evento de mutación, pero una mutación idéntica puede modificar otra copia del mismo gen en el acervo genético en algún otro momento). Las demás continúan produ-

1. *Remember the wisdom out of the old days...*

ciendo copias del gen original, que ahora puede decirse que compete con la forma muñante. Producir copias es, desde luego, algo que los genes, a diferencia de las monedas, hacen extraordinariamente bien, y nuestro diario de un gen debe incluir las experiencias no de los átomos concretos que constituyen el ADN, sino las experiencias del ADN en forma de múltiples copias a lo largo de generaciones sucesivas. Como vimos en el capítulo anterior, gran parte de la «experiencia» de un gen de las generaciones anteriores consiste en interactuar con otros genes de su misma especie, y ésta es la razón por la que cooperan de manera tan amigable en la empresa colectiva de construir cuerpos.

Plantéemos ahora la pregunta de si todos los genes de una especie tienen las mismas «experiencias» ancestrales. En su mayoría sí. La mayoría de genes de búfalo puede mirar hacia atrás y contemplar una larga línea de cuerpos de búfalo que gozaron, o sufrieron, experiencias típicas de búfalo. Los cuerpos en los que estos genes sobrevivieron incluyen búfalos macho y hembra, grandes y pequeños, etc. Pero hay subconjuntos de genes con experiencias distintas, por ejemplo los que determinan el sexo. En los mamíferos, los cromosomas Y se encuentran sólo en los machos y no intercambian sus genes con otros cromosomas, de modo que un gen situado en un cromosoma Y ha tenido una experiencia limitada a los cuerpos de búfalo masculinos. Sus experiencias son *en gran parte* típicas de los genes de búfalo en general, pero no por completo. A diferencia de la mayoría de genes de búfalo, no sabe qué es estar situado en un búfalo hembra. Un gen que haya estado siempre en un cromosoma Y desde el origen de los mamíferos en la era de los dinosaurios habrá pasado por cuerpos masculinos de muchas especies distintas, pero nunca por un cuerpo femenino. El caso de los cromosomas X es más complicado. Los mamíferos de sexo masculino poseen un cromosoma X (heredado de la madre, más un cromosoma Y heredado del padre), mientras que las hembras poseen dos cromosomas X (uno de cada progenitor). Esto quiere decir que cada gen de un cromosoma X ha pasado por cuerpos tanto femeninos como masculinos, pero dos tercios de su experiencia se han desarrollado en cuerpos femeninos. En las aves la situación se invierte: las hembras poseen cromosomas sexuales desiguales (que bien podemos denominar X e Y por analogía con los mamíferos, aunque la terminología oficial para las aves es distinta), y los machos dos cromosomas iguales (XX).

Los genes de los demás cromosomas han tenido todos una experiencia igual de cuerpos masculinos y femeninos, pero sus experiencias pueden ser distintas en otros aspectos. Un gen habrá pasado más tiempo en cuerpos ancestrales que hayan poseído cualidades codificadas por ese gen (patas largas, cuernos gruesos, o lo que sea) especialmente si se trata de un gen dominante; y lo que resulta casi igual de evidente, es probable que todos los genes hayan pasado más tiempo en cuerpos ancestrales exitosos que en cuerpos que no lo fueron. Existen muchísimos cuerpos sin éxito, cada uno con su dotación completa de genes. Pero tienden a no tener descendencia (esto es lo que significa no tener éxito), de manera que, cuando un gen examina su biografía de cuerpos anteriores, observará que en realidad todos ellos tuvieron éxito (por definición), y quizá la mayoría (pero no todos) estaba equipada con lo que normalmente se necesita para tener éxito. Aquí la diferencia es que los individuos no equipados para tener éxito a veces consiguen reproducirse a pesar de su carencia; y otras veces, individuos magníficamente equipados para reproducirse y sobrevivir en unas condiciones promedio son alcanzados por el rayo.

Si, como ocurre con algunos ciervos, focas y monos, en la especie considerada los machos forman jerarquías de dominancia, y los machos dominantes monopolizan la mayor parte de la reproducción, entonces los genes de la especie tendrán más experiencia de cuerpos de machos dominantes que de machos subordinados. (Adviértase que ya no estamos utilizando dominante en su sentido genético técnico, cuyo opuesto es recesivo, sino en el sentido del lenguaje ordinario, cuyo opuesto es subordinado.) En cada generación, la mayoría de los machos son subordinados, pero sus genes siguen contemplando un fuerte linaje de antepasados dominantes cuando miran hacia atrás. En cada generación, la mayoría es engendrada por una minoría dominante en la generación previa. Si, como ocurre en los faisanes, suponemos que en la especie la mayor parte de la inseminación es efectuada por machos hermosos (para las hembras), la mayoría de genes presentes, se encuentren en hembras, en machos feos o en machos hermosos, puede mirar hacia atrás y contemplar un largo linaje de machos hermosos ancestrales. Los genes tienen más experiencia de cuerpos con éxito que de cuerpos mediocres.

En la medida en que los genes de una especie tienen una experiencia regular y recurrente de cuerpos subordinados, podemos esperar

presenciar estrategias condicionales para «poner al mal tiempo buena cara». En aquellas especies en las que los machos que tienen éxito defienden belicosamente harenes grandes, a veces se observan machos subordinados que emplean estrategias alternativas «solapadas» para acceder momentáneamente a las hembras. Las focas poseen algunas de las sociedades de harén más desiguales del reino animal. En algunas poblaciones, menos de un 10 por ciento de los machos ejecuta más del 90 por ciento de las cópulas. La mayoría célibe de machos, al tiempo que aguarda su oportunidad de deponer a uno de los machos dominantes, está alerta por si se presentan ocasiones de cópula furtiva con hembras que temporalmente estén sin vigilancia. Pero para que una tal estrategia masculina alternativa se vea favorecida por la selección natural, debe existir al menos un goteo significativo de genes que se hayan introducido furtivamente a lo largo de las generaciones a través de estas cópulas robadas. Así pues, en nuestra metáfora del «diario de un gen», al menos algunos genes han pasado por machos subordinados en su experiencia ancestral.

No se engañe el lector por la palabra «experiencia». No es sólo que el término debe tomarse en sentido metafórico y no literal. Esto, espero, es evidente. Menos obvio es el hecho de que la metáfora, es mucho más reveladora si se piensa en el acervo genético de la especie (en lugar de un solo gen) como la entidad que adquiere experiencia a partir de su pasado ancestral. Éste es otro aspecto de nuestra doctrina del «cooperador egoísta». Permítaseme explicar qué significa decir que una especie, o su acervo genético, aprende a partir de la experiencia. La especie cambia a lo largo del tiempo evolutivo. En cualquier generación, desde luego, la especie está constituida por el conjunto de sus miembros individuales vivos. Obviamente, este conjunto cambia a medida que nacen nuevos miembros y mueren los viejos. No se puede decir que este cambio se beneficie de la experiencia en sí mismo, pero la distribución estadística de la población de genes puede desplazarse sistemáticamente en una dirección específica, y en esto consiste la «experiencia de la especie». Si se está iniciando una glaciación, cada vez habrá más individuos con gruesos pelajes lanudos. En cada generación, los individuos de pelaje más denso tienden a contribuir con más descendientes que la media a la generación siguiente, y con ellos los genes para pelaje más denso. La población entera de genes (y por ende los

genes que es probable que contenga un individuo típico) se desplaza en el sentido de contener cada vez más genes para pelaje denso. Lo mismo pasa con otros tipos de genes. A medida que se suceden las generaciones, todo el conjunto de genes de una especie (el acervo genético) es esculpido y tallado, moldeado y modelado de modo que sirva para producir individuos exitosos. Es en este sentido en el que digo que la especie aprende a partir de su experiencia en el arte de construir buenos cuerpos individuales, y almacena sus experiencias en forma codificada en el conjunto de genes del acervo de la especie. El tiempo geológico es la escala temporal de la experiencia de las especies. La información que la experiencia empaqueta es información sobre ambientes ancestrales y cómo sobrevivir en ellos.

Una especie es un ordenador que promedia. Este ordenador elabora, a lo largo de las generaciones, una descripción estadística de los mundos en los que vivieron y se reprodujeron los antepasados de los miembros vivos de la especie. Esta descripción está escrita en el lenguaje del ADN. No reside en el ADN de un individuo concreto, sino en el colectivo de genes (los cooperadores egoístas) de la población reproductora entera. Quizá «información o lectura de salida» (*Readout*) sea más apropiado que «descripción». Si se encuentra el cuerpo de un animal, una nueva especie previamente desconocida para la ciencia, un zoólogo que esté al día y al que se le permita examinar y disecar cualquier detalle del animal debería ser capaz de «leer» su cuerpo y decimos en qué tipo de ambiente han vivido sus antepasados: desierto, pluvisilva, tundra ártica, bosque templado o arrecife de coral. El zoólogo también debería poder decimos, leyendo sus dientes y su tubo digestivo, qué comía el animal. Unos dientes molares planos y un tubo digestivo largo con ciegos complicados indicarían que era un herbívoro; unos dientes afilados y cortantes y un tubo digestivo corto y sencillo indicarían un carnívoro. Los pies del animal, sus ojos y otros órganos de los sentidos indicarían cómo se desplazaba y obtenía su alimento. Sus listas o colores llamativos, sus cuernos, astas o crestas, ofrecerían un resumen, para el experto, de su vida social y sexual.

Pero la ciencia zoológica debe recorrer todavía un largo camino. La «lectura» que puede hacer la zoología actual del cuerpo de una especie recién descubierta sólo permite un veredicto aproximado y cualitativo sobre su probable habitat y forma de vida. La zoología del futuro

introducirá en el ordenador muchas más medidas de la anatomía y la química del animal que se va a «leer». Más importante aún es que estas medidas no deben evaluarse por separado. Habrá que perfeccionar las técnicas matemáticas para combinar información procedente de los dientes, el tubo digestivo, la química del estómago, la coloración y las armas sociales, la sangre, los huesos, los músculos y los ligamentos. Habrá que incorporar métodos para analizar las interacciones mutuas de dichas medidas. El ordenador, mediante la combinación de todo lo que se sepa sobre el cuerpo de un animal desconocido, construirá un modelo detallado y cuantitativo del mundo o mundos en los que vivieron sus antepasados. Esto, pienso, equivale a decir que el animal, cualquier animal, *es* un modelo o descripción de su propio mundo, o más exactamente de los mundos en los que los genes de sus antepasados fueron seleccionados de forma natural.

En unos pocos casos, el cuerpo de un animal es una descripción del mundo en el sentido literal de una representación pictórica. Un insecto palo vive en un mundo de ramitas, y su cuerpo es una escultura representacional de una ramita, con las cicatrices de las hojas, las yemas y todo lo demás. El pelaje de un cervato es una pintura del patrón moteado de la luz solar filtrada a través del ramaje sobre el suelo del bosque. Una geómetra del abedul (la polilla *Biston betularia*) es un modelo de líquen sobre la corteza de un árbol. Pero, así como el arte no tiene por qué ser literal ni representacional, puede decirse que los animales también representan a veces su mundo de otras maneras: impresionistas, por así decirlo, o simbólicas. Un artista que busque una impresión espectacular de velocidad en el aire difícilmente podrá encontrar otra cosa mejor que la forma de un vencejo común. Quizás ello se deba a que poseemos una comprensión intuitiva del aerodinamismo, quizá porque nos hemos acostumbrado a la belleza aerodinámica de los modernos aviones a reacción, quizá porque tenemos algún conocimiento de la física de la turbulencia y del número de Reynolds, en cuyo caso podemos decir que la forma del vencejo incorpora hechos codificados acerca de la viscosidad del aire en el que volaron sus antepasados. Sea como sea, el vencejo se nos antoja tan bien adaptado a un mundo de flujo de aire a alta velocidad como un guante a una mano, impresión que se ve reforzada cuando la comparamos con el torpe forcejeo de un vencejo que ha caído al suelo y es incapaz de levantar el vuelo.

Un topo no es literalmente la forma de un túnel subterráneo. Más bien es una especie de imagen negativa de un túnel, modelada para deslizarse a través del mismo. Sus manos no son literalmente como el suelo, pero semejan palas que, por experiencia o intuición, podemos ver como el complemento funcional del suelo: palas accionadas por potentes músculos excavadores. Hay casos aún más sorprendentes en los que un animal, o parte de él, no se parece literalmente a su mundo pero se ajusta como un guante a alguna parte del mismo. El abdomen arrollado de un cangrejo ermitaño es una representación codificada de las conchas de moluscos que albergaron los genes de sus antepasados. También podríamos decir que los genes del cangrejo ermitaño contienen una predicción codificada acerca de un aspecto del mundo en el cual encajará. Puesto que los modernos caracoles y buccinos son, por término medio, iguales a los caracoles y buccinos antiguos, los cangrejos ermitaños todavía encajan en ellos y sobreviven; la predicción se cumple.

Existe una especie de acaro diminuto que se ha especializado en instalarse en un lugar preciso de la parte interior de las mandíbulas en forma de pinza de una determinada casta obrera de hormigas legionarias o cazadoras. Otra especie de acaro se instala en la primera articulación de la antena de una hormiga legionaria. Cada uno de estos ácaros tiene la forma adecuada para encajar en su habitat concreto, del mismo modo que una llave encaja en una cerradura (el profesor C.W. Rettenmeyer me ha hecho saber, con gran pesar por mi parte, que no hay acares modelados para las antenas izquierdas y otros para las antenas derechas). Así como una llave contiene información (complementaria o negativa) sobre su propia cerradura (información sin la cual la puerta no puede abrirse), el acaro contiene información sobre su mundo, en este caso la forma de la articulación del insecto en la que se aloja. (Los parásitos suelen ser llaves muy especializadas que encajan en las cerraduras de sus patrones de manera mucho más precisa que los depredadores, presumiblemente porque es insólito que un depredador ataque a una sola especie de presa. La distinguida bióloga Miriam Rothschild posee un caudal de ejemplos deliciosos, entre ellos el de un «gusano que vive exclusivamente bajo los párpados del hipopótamo y se alimenta de sus lágrimas».)

A veces el ajuste del animal a su mundo es intuitivamente claro, para el sentido común o para el ojo adiestrado del ingeniero. Todo el

mundo puede adivinar por qué los pies palmeados son tan comunes entre los animales que penetran frecuentemente en el agua (patos, ornitorrincos, ranas, nutrias y otros). Si el lector tiene alguna duda, cálcese un par de pies de pato de goma y experimente la sensación de liberación inmediata al nadar. Incluso puede llegar a desear haber nacido con pies de pato... hasta que salga del agua e intente andar con las aletas de goma. Mi amigo Richard Leakey, paleoantropólogo, conservacionista y héroe africano, perdió ambas piernas en un accidente de avioneta. Ahora tiene dos pares de piernas artificiales: un par con zapatos fijos de tamaño extragrande para dar estabilidad, que utiliza para andar, y otro par con aletas para nadar. Los pies que son buenos para un modo de vida son malos para otro. Es difícil diseñar un animal que pueda hacer bien dos cosas tan distintas.

Todo el mundo puede ver por qué las nutrias, las focas y otros animales que viven en el agua y respiran aire suelen tener orificios nasales que pueden cerrarse a voluntad. Aquí también, los nadadores humanos recurren a artificios, en este caso una pinza para la nariz, parecida a una pinza para la ropa. Cualquiera que vea a un oso hormiguero comiendo en un hormiguero o termitero puede ver de inmediato por qué estos animales están dotados de un hocico largo y delgado junto con una lengua pegajosa. Esto es así no sólo para los osos hormigueros especializados de Suramérica, sino también para los pangelines y el cerdo hormiguero de África, que no están emparentados con ellos, y para el numbat u hormiguero marsupial, todavía menos relacionado, y los hormigueros espinosos o equidnas, de parentesco todavía más distante, de Australasia. Menos evidente es la razón por la cual todos los mamíferos que comen hormigas o termites tienen una temperatura corporal baja comparada con la de la mayoría de mamíferos y, en correspondencia, una tasa metabólica baja.

Nuestros zoólogos del futuro, para poder reconstruir los mundos ancestrales y las descripciones genéticas de los mismos, tendrán que sustituir el sentido común intuitivo por la investigación sistemática. He aquí cómo podrían actuar. Empezarán listando un conjunto de animales sin un parentesco estrecho, pero que compartan un aspecto importante de su vida. Los mamíferos acuáticos serían un buen caso de prueba. En más de una docena de ocasiones distintas, mamíferos terrestres han vuelto a buscarse la vida, total o parcialmente, en el agua. Sabemos que

lo hicieron de manera independiente porque sus primos más allegados viven todavía en tierra. El desmán de los Pirineos (*Desmana pyrenaica*) es una especie de topo acuático estrechamente emparentado con nuestros familiares topos excavadores. Desmanes y topos son miembros del orden insectívoros. Otros miembros de los insectívoros que han evolucionado independientemente para vivir en las aguas dulces incluyen las musarañas acuáticas, una especie acuática de tenrec (un grupo exclusivo de Madagascar) y tres especies de musarañas nutria. Esto supone cuatro retomos al agua independientes sólo entre los insectívoros. Cada uno de los cuatro géneros está más emparentado con formas terrestres que con los otros géneros dulceacuícolas de la lista. Las tres musarañas nutria deben contarse como un solo retomo al agua, porque están estrechamente emparentadas entre sí y presumiblemente descienden todas de un antepasado acuático reciente. Los cetáceos actuales probablemente representan, a lo sumo, dos retomos separados al agua: los cetáceos con dientes (entre ellos los delfines) y los cetáceos con ballenas. Los dugones y manatíes actuales son primos hermanos, y es seguro que tienen un antepasado común marino; por lo tanto, también ellos representan un único retomo al mar. En la gran familia de los cerdos, la mayoría de especies vive en tierra, pero los hipopótamos han retomado parcialmente al agua. Los castores y las nutrias verdaderas son otros animales cuyos antepasados volvieron al agua. Pueden compararse directamente con primos que permanecieron en tierra, como los perrillos de las praderas en el caso de los castores y los tejones en el caso de las nutrias. Los visones son miembros del mismo género que las comadrejas y los armiños (esto los hace tan emparentados entre sí como caballos, cebras y asnos), pero son semiacuáticos y poseen pies parcialmente palmeados. Hay un marsupial acuático sudamericano, el yapok o tlacuache de agua (*Chironectes minimus*), que puede compararse directamente con sus primos terrestres las zarigüeyas. Entre los mamíferos de Australasia que ponen huevos, los ornitorrincos viven principalmente en el agua y los equidnas en tierra. Podemos confeccionar una lista respetable de parejas que casan, con cada grupo acuático independiente junto a su primo terrestre más cercano. A partir de la lista de pares correspondientes, podemos advertir de inmediato algunos hechos evidentes. La mayoría de animales acuáticos

tiene pies al menos parcialmente palmeados; algunos poseen una cola modificada en forma de pala. Tales características son evidentes, de la misma manera que lo es la lengua pegajosa y larga que comparten las distintas especies de mamíferos comedores de hormigas. Pero, al igual que la baja tasa metabólica propia de los mamíferos hormigueros, hay probablemente características menos obvias que los animales acuáticos comparten y que los distinguen de sus primos terrestres. ¿Cómo las descubriremos? Mediante un análisis estadístico sistemático; quizás algo parecido a lo que sigue.

Mirando nuestra tabla de pares de especies correspondientes, realizamos una gran cantidad de medidas, las mismas para todos los animales. Medimos todo aquello que se nos ocurra, sin ninguna expectativa previa: anchura de la pelvis, radio del ojo, longitud del tubo digestivo y otras docenas de medidas, quizá todas ellas escaladas en relación al tamaño total del cuerpo. Después introducimos todas las medidas en el ordenador y le hacemos calcular qué medidas deben tener un *peso* mayor para discriminar a los animales acuáticos de sus primos terrestres. Podemos calcular un número, el «número discriminatorio», sumando las contribuciones de todas las medidas, multiplicada cada una por un factor ponderante. El ordenador ajusta el peso asignado a cada medida, con el fin de maximizar la diferencia, en la suma final, entre los mamíferos acuáticos y sus contrapartidas terrestres. Es presumible que del análisis surja un índice de palmeadura de los pies con un fuerte peso. El ordenador descubrirá que vale la pena (si estamos intentando maximizar la diferencia entre los animales acuáticos y terrestres) multiplicar el índice de palmeadura por un número elevado antes de sumarlo al número discriminatorio. Otras medidas (cosas que los mamíferos comparten con independencia de lo húmedo que sea su mundo) tendrán que ser multiplicadas por cero para eliminar su contribución irrelevante y confusa a la suma ponderada.

Al final del análisis observamos los pesos de todas nuestras medidas. Las que aparezcan con los pesos mayores, como el índice de palmeadura de los pies, son las que tienen algo que ver con la acuaticidad. La palmeadura de los pies es evidente. Lo que esperamos es que el análisis descubra otros discriminadores importantes que no son tan evidentes. De carácter bioquímico, por ejemplo. Cuando los hayamos encontrado, podremos rascarnos la cabeza y preguntarnos qué cone-

xión tienen con el hecho de vivir en el agua o en tierra. Esto puede sugerir hipótesis para investigaciones ulteriores; y aunque no sea así, es muy probable que cualquier medida que nos dé una diferencia estadísticamente significativa entre animales que han adoptado cierto modo de vida y sus primos que no lo han hecho nos revele algo importante acerca de ese modo de vida.

Podemos hacer lo mismo con los genes. Sin ninguna hipótesis previa acerca de cuál es su función, realizamos una búsqueda sistemática de similitudes genéticas entre animales acuáticos no emparentados, que no sean compartidas por sus primos cercanos terrestres. Si encontramos algunos efectos fuertes y estadísticamente significativos, aun cuando no sepamos qué hacen esos genes, yo diría que aquello que estemos observando podrá considerarse una descripción genética de los mundos acuáticos. La selección natural, repitámoslo, funciona como un ordenador promediador, que hace lo equivalente a los cálculos que acabamos de programar para nuestro ordenador artificial.

Las especies adoptan a menudo varios tipos de vida, que pueden ser radicalmente distintos entre sí. Una oruga, y la mariposa en la que se convierte, son miembros de la misma especie, pero nuestra reconstrucción de zoólogo de sus dos modos de vida sería absolutamente distinta. Oruga y mariposa contienen exactamente el mismo conjunto de genes, y los genes deben describir ambos ambientes, pero por separado. Es presumible que un grupo de ellos se active en la fase de oruga, de crecimiento y consumo de hojas, y que otro conjunto de genes muy distinto se active en la fase adulta, reproductora y libadora de néctar.

Los machos y las hembras de la mayoría de especies viven de manera al menos algo distinta. Las diferencias llegan al extremo en los peces pescadores de caña (ceratioideos abisales), en los que el macho se fija como una diminuta protuberancia parásita al voluminoso cuerpo de la hembra. En la mayoría de especies, nosotros incluidos, tanto el macho como la hembra contienen la mayoría de genes para ser macho o hembra. Las diferencias residen en los genes que se activan. Todos poseemos genes para la formación de penes y genes para la formación de úteros, con independencia de nuestro sexo. (Dicho sea de paso, «sexo» es correcto, mientras que «género» no lo es. Género es un tér-

mino técnico gramatical, que se aplica a las palabras, no a los organismos. En alemán, el género de una muchacha es neutro, pero su sexo es femenino. Los lenguajes amerindios tienen típicamente dos géneros animado e inanimado. La asociación de género con sexo en algunos grupos de lenguajes es fortuita. Resulta gracioso que el eufemismo políticamente correcto —decir género cuando uno se refiere al sexo de cada cual— sea, en consecuencia, un ejemplo de imperialismo occidental.) Si lee únicamente el cuerpo de un macho o de una hembra nuestro futuro zoólogo obtendrá una imagen incompleta de los mundos ancestrales de la especie. Por el contrario, los *genes* de cualquier miembro de la especie serán prácticamente suficientes para reconstruir una imagen completa de la gama de modos de vida que la especie ha experimentado.

Los cucos o cuclillos parásitos son una rareza, y una rareza fascinante desde el punto de vista del Libro Genético de los Muertos. Como es bien sabido, son criados por padres adoptivos de una especie que no es la suya. Nunca crían a sus propios hijos. No todos son criados por la misma especie adoptiva. En Inglaterra, algunos son criados por bisbitas comunes (*Anthus pratensis*), otros por carriceros comunes (*Acrocephalus scirpaceus*), menos por petirrojos (*Erithacus rubecula*) y otras especies, pero la mayoría es criada por acentores comunes (*Pru-nella modularis*). Sucede que el principal especialista británico en acentores comunes y autor de *Dunnock Behaviour and Social Evolution [Comportamiento y evolución social del acentor común]* (1992) es también el principal investigador actual de la biología del cuco: Nicholas Davies, de la Universidad de Cambridge. Basaré mi relato en la obra de Davies y su colega Michael Brooke, porque se presta especialmente bien a la metáfora de la «experiencia» de mundos ancestrales. A menos que se diga lo contrario, me referiré al cuco o cuclillo común, *Cuculus canorus*.

Aunque se equivoca un 10 por ciento de las veces, normalmente una hembra de cuco pone sus huevos en el mismo tipo de nido que su madre, su abuela materna, su bisabuela materna y así sucesivamente. Es de suponer que las jóvenes hembras memorizan las características de su nido adoptivo y las buscan cuando les llega su turno. Así, en lo que respecta a las hembras, hay cucos de acentores comunes, cucos de carriceros comunes, cucos de bisbitas comunes, etcétera, y comparten

este atributo con sus parientes de la línea materna. Pero no se trata de especies distintas, ni siquiera de razas separadas en el sentido habitual de la palabra. Se los denomina «gentes» (singular «gens»). La razón de que un gens no sea una raza o especie verdadera es que los cucos macho no pertenecen a ningún gens. Puesto que no ponen huevos, nunca tienen que escoger un nido adoptivo; y cuando un cuco macho se aparee, lo hace con un cuco hembra, con independencia de su gens y sin tener en cuenta qué especies adoptivas los criaron. De ahí se seguiría que hay flujo génico entre los gentes. Los machos transportan genes de uno a otro gens femenino. La madre de una hembra, su abuela materna y su bisabuela materna pertenecerán todas al mismo gens, pero su abuela paterna, las dos bisabuelas paternas y todos sus antepasados femeninos a los que está ligada por cualquier antepasado masculino pueden pertenecer a cualquier gens. Desde el punto de vista de la «experiencia» genética, la consecuencia es muy interesante. Recuérdese que, en las aves, es el sexo femenino el que posee los cromosomas sexuales desiguales, X e Y, mientras que el sexo masculino posee dos cromosomas X. Piénsese en lo que esto representa para la experiencia ancestral de los genes de un cromosoma Y. Puesto que es transmitido de manera inmutable a lo largo de la línea femenina, y nunca se desvía hacia rutas de experiencia masculina, un cromosoma Y permanece estrictamente en el interior de un gens. Es un cromosoma Y de cuco de acentor común o un cromosoma Y de cuco de bisbita común. Su «experiencia» de progenitores adoptivos es la misma generación tras generación. En este sentido difiere de todos los demás genes del cuco, porque todos ellos han pasado algún tiempo en cuerpos masculinos y, por lo tanto, se han barajado libremente entre los distintos gentes femeninos, experimentándolos todos en proporción a su frecuencia.

En nuestro lenguaje de los genes como «descripciones» de ambientes ancestrales, la mayoría de genes de cuco podrán describir aquellas características compartidas por la gama completa de nidos adoptivos que la especie ha parasitado. El cromosoma Y, en cambio, describirá un solo tipo de nido adoptivo, una especie de padres adoptivos. Esto significa que los genes del cromosoma Y, de una manera que no es posible para otros genes de cuclillo, se encontrarán en posición de producir por evolución ardides especializados para sobrevivir en el nido de su especie adoptiva concreta. ¿Qué tipo de ardides? Bien, los

huevos de cuco muestran al menos una cierta tendencia a imitar los huevos de sus especies adoptivas. Los huevos de cuco depositados en nidos de bisbitas comunes son como huevos grandes de bisbitas comunes. Los huevos de cuco puestos en nidos de carniceros comunes son como huevos grandes de carriceros comunes. Los huevos de cuco puestos en nidos de lavandera blanca enlutada (*Motacilla alba yarrelli*) se parecen a huevos de lavandera blanca enlutada. Presumiblemente esto beneficia a los huevos de cuco, que de otro modo podrían ser rechazados por los padres adoptivos. Pero piénsese en lo que debe suponer desde el punto de vista genético.

Si los genes para el color del huevo estuvieran en cualquier cromosoma que no fuera el Y, serían transmitidos a través de los machos a los cuerpos de hembras pertenecientes a toda la variedad de gentes. Ello significa que serían transportados a toda la gama de nidos de huéspedes y no habría una presión selectiva consistente para imitar a un tipo de huevo más que a otro. En estas circunstancias, sería difícil que sus huevos imitaran nada fuera de las características más generales de los huevos de todos los huéspedes. Aunque no hay evidencia directa, es razonable suponer que los genes específicos del mimetismo de los huevos se localizan en el cromosoma Y del cuco. Las hembras los portarán, generación tras generación, a los nidos del mismo huésped. Su «experiencia» ancestral estará asociada en su totalidad a los ojos discriminadores del mismo huésped, y dichos ojos ejercerán la presión selectiva que dirige su pauta y color de manchas hacia el mimetismo de los huevos del huésped.

Hay una excepción conspicua. Los huevos de cuco puestos en nidos de acentor común no se parecen a los huevos del acentor común, y no son más variables entre sí que los huevos puestos en nidos de carricero común o de bisbita común: su color es distintivo de los cucos del gens de acentor común, y no se parecen demasiado a los huevos de ningún otro gens, pero tampoco se parecen a los huevos de acentor común. ¿A qué se debe esto? Podría pensarse que, al ser los huevos de acentor común de un color azul pálido uniforme, son más difíciles de imitar que los huevos de carricero común o de bisbita común. Quizá los cucos simplemente carecen de la dotación fisiológica para producir huevos de color azul uniforme. Siempre sospecho de estas teorías de último recurso, y en este caso hay evidencias en contra. En Finlandia

existe un gens de cuclillo que parásita colirrojos reales (*Phoenicurus phoenicurus*), que también tienen huevos de color azul uniforme. Estos cuclillos, que pertenecen a la misma especie que los cucos británicos, ponen huevos de color azul uniforme. Esto demuestra que el fracaso de los cucos británicos en imitar los huevos de acentor común no puede achacarse a la incapacidad innata de producir el color azul sin motas.

Davies y Brooke creen que la verdadera explicación reside en el hecho de que la relación entre acentores comunes y cucos es reciente. Los cucos entablan carreras armamentistas en el tiempo evolutivo con cada especie huésped, y el gens del que estamos tratando sólo recientemente ha «invadido» a los acentores comunes. En consecuencia, éstos no han tenido tiempo de desarrollar contramedidas. Y los cucos asociados a acentores comunes tampoco han tenido tiempo de desarrollar por evolución huevos que imiten a los de su huésped, o bien no los necesitan porque éstos todavía no han desarrollado el hábito de discriminar huevos ajenos de los propios. En el lenguaje de este capítulo, ni el acervo genético del acentor común ni el del cuco (o, mejor, el cromosoma Y del gens de acentor común del cuco) han tenido suficiente experiencia del otro como para desarrollar contramedidas evolutivas. Quizá los cucos de acentor común están todavía adaptados a burlar a una especie adoptiva distinta, la que su antepasado femenino abandonó cuando puso el primer huevo en un nido de acentores comunes.

Bisbitas comunes, carriceros comunes y lavanderas blancas enlutadas son, según esta manera de verlo, viejos enemigos de sus gentes respectivos de cuclillos. Ha habido mucho tiempo para que ambos bandos hayan acumulado una gran cantidad de armamento. Los huéspedes han desarrollado ojos penetrantes para los huevos impostores, y los cucos poseen disfraces para sus huevos igual de astutos. Los petirrojos son un caso intermedio. Sus cucos ponen huevos que se parecen algo a los de petirrojo, pero no mucho. Quizá la carrera armamentista entre petirrojos y el gens petirrojo de los cucos es de una antigüedad intermedia. Según esta hipótesis, los cromosomas Y de los cucos de petirrojo tienen cierta experiencia, pero su descripción de ambientes ancestrales recientes (de petirrojo) es todavía superficial y está contaminada por las descripciones previas de otras especies «experimentadas» previamente.

Davies y Brooke realizaron experimentos colocando deliberadamente huevos suplementarios de varios tipos en nidos pertenecientes a

distintas especies de aves. Querían saber qué especie aceptaría, o rechazaría, los huevos extraños. Su hipótesis era que que las especies que han sostenido una larga carrera armamentista con los cucos tendrían más posibilidades, como consecuencia de su «experiencia» genética, de rechazar los huevos extraños. Una manera de comprobarlo era buscar especies que ni siquiera fueran adecuadas como huéspedes para los cucos. Los pollos de cuco comen insectos o gusanos. Las especies que alimentan a sus pollos con semillas, o las que anidan en agujeros que las hembras de cuco no pueden alcanzar, nunca han corrido el riesgo de ser parasitadas por los cuclillos. Davies y Brooke predijeron que estas aves no se preocuparían si se introducían experimentalmente huevos extraños en sus nidos. Y así sucedió. En cambio, las especies que son adecuadas para los cucos, como los pinzones vulgares (*Fringilla coelebs*), los zorzales comunes (*Turdus philomelos*) y los mirlos comunes (*Turdus merula*), mostraron una tendencia más fuerte a rechazar los huevos experimentales que Davies y Brooke, haciendo de cucos, depositaron en sus nidos. Los papamoscas son potencialmente vulnerables porque dan de comer a sus pollos una dieta apta para los cucos. Pero mientras que los papamoscas grises (*Muscicapa striata*) hacen nidos abiertos y accesibles, los papamoscas cerrojillos (*Ficedula hypoleuca*) anidan en agujeros demasiado pequeños para las hembras de cuco. Naturalmente, cuando los experimentadores pusieron huevos extraños en sus nidos, los papamoscas cerrojillos, con sus acervos genéticos «inexpertos», aceptaron los huevos extraños sin rechistar; los papamoscas grises, en cambio, los rechazaron, lo que sugiere que sus acervos genéticos estaban al tanto de la amenaza del cuco desde hacía tiempo.

Davies y Brooke realizaron experimentos similares con especies parasitadas por los cucos. Bisbitas comunes, carriceros comunes y lavanderas blancas enlutadas rechazaban por lo general los huevos añadidos artificialmente. Como corresponde a la hipótesis de «falta de experiencia ancestral», los acentores comunes no lo hacían, y tampoco los chochines (*Troglodytes troglodytes*). Los petirrojos y los carriceros comunes (*Acrocephalus schoenobaenus*) mostraban una conducta intermedia. En el otro extremo, los escribanos palustres (*Emberiza schoeniclus*), que son adecuados para los cucos pero poco parasitados por ellos, mostraban un rechazo total de los huevos extraños. No es sorprendente que los cucos no los parasiten. La interpretación de Da -

vies y Brooke sería presumiblemente que los escribanos palustres han terminado ganando una larga carrera armamentista ancestral con los cucos. Los acentores comunes se encuentran al principio de su carrera; armamentista. Los petirrojos están un poco más avanzados en la suya. Bisbitas comunes, carriceros comunes y lavanderas blancas enlutadas; se encuentran en la mitad de su carrera armamentista.

Cuando decimos que los acentores comunes acaban de empezar su carrera armamentista con los cucos, «acaban de empezar» debe interpretarse teniendo presentes las escalas de tiempo evolutivas. Para los estándares humanos, la asociación podría ser muy antigua. El *Oxford English Dictionary of Quotations* cita una referencia de 1616 al *heysogge* (nombre arcaico para el acentor común o gorrión de seto) como «un pájaro que empolla los huevos de cuco». Davies señala los siguientes versos de *El rey Lear*, I, iv, escrito una década antes:

Pues como ya sabéis, amo,
por tanto tiempo el cuco nutría al gorrión
que por las crías su cabeza arrancada acabó.²

Y en el siglo xiv, Chaucer escribió acerca del trato que el cuco daba al acentor común en *El parlamento de las aves*:

«¡Tú mataste al gorrión en la rama
Que te procreó, tú, despiadado glotón!»³

Aunque acentor común, gorrión de seto y *heysogge* aparecen como sinónimos en el diccionario, no puedo dejar de pensar hasta qué punto podemos fiarnos de la ornitología medieval. El mismo Chaucer utilizaba el lenguaje con bastante precisión, pero no obstante se ha dado a veces el nombre de gorrión a lo que en la actualidad se denomina técnicamente un PPP (pequeño pájaro pardo). Puede que éste fuera el significado de Shakespeare en lo que sigue, de *Enrique IV*, parte 1, V, i:

2. *For, you trow, nuncle, /The hedge-sparrow fed the cuckoo so long, /That it's had it head bit off by it young.* Versión del Instituto Shakespeare: *El rey Lear*, Alianza Editorial, Madrid, 1980. (N. del T.)

3. «*Thou murtherere of the heysogge on the braunche / That broughte the forth, thou rewtheless glotoun!*»

Y, habiendo sido alimentado por nosotros, nos utilizaste Al igual que esta gaviota maligna, el cuclillo, Utiliza al gorrión: tiranizaste nuestro nido;

Creciste por nuestro alimento hasta un tamaño tan grande Que incluso nuestro amor no osaba acercarse a ti Por miedo de que te lo tragaras.⁴

Gorrión, sin más, se aplicaría hoy al gorrión común, *Passer domesticus*, que nunca es parasitado por cucos. A pesar de su nombre alternativo de gorrión de seto, el acentor común, *Prunella modularis*, no está emparentado con el gorrión; es un «gorrión» únicamente en el sentido laxo de pequeño pájaro pardo. En cualquier caso, aun dando por buena la evidencia de Chaucer, que demostraría que la carrera armamentista entre cucos y acentores comunes se remonta como mínimo al siglo xiv, Davies y Brooke citan cálculos teóricos que tienen en cuenta la rareza relativa de los cucos y que sugieren que este tiempo es todavía lo bastante corto en términos evolutivos para explicar la aparente ingenuidad de los acentores comunes cuando se enfrentan a los cucos.

Antes de dejar a los cucos, he aquí un interesante pensamiento. Podría ser que hubiera más de un gens de, pongamos por caso, cucos de petirrojo, que existirían simultáneamente y habrían conseguido de manera independiente sus huevos miméticos. Puesto que no hay flujo génico entre ellos en lo que respecta a los cromosomas Y, podría haber mimetas fieles de huevos coexistiendo con mimetas menos perfectos. Todos son capaces de aparearse con los mismos machos, pero no comparten los mismos cromosomas Y. Los mimetas fieles descenderían de una hembra que comenzó a parasitar petirrojos hace mucho tiempo. Los menos acabados descenderían de una hembra distinta que comenzó a parasitar petirrojos más recientemente, quizás a partir de una especie huésped predecesora distinta. Las hormigas, los termites y otros insectos sociales son raros en otro aspecto. Poseen obreras estériles, que suelen estar divididas en varias

4. *And, being fed by us, you used us so /As that ungentle gull. the cuckoo's bird, / Useth the sparrow - did oppress our nest; / Grew by ourfeeding to so great a bulk / That even our lave durst not come near your sight / Forfeare of swailowing.*

«castas»: soldados, obreras media (de tamaño medio), obreras minor (pequeñas), etc. Cualquier obrera, sea cual sea su casta, contiene genes que podrían haberla convertido en miembro de cualquier otra casta. En función de las distintas condiciones de cría, se activan distintos conjuntos de genes. Mediante la regulación de estas condiciones de cría, la colonia gestiona un equilibrio útil de las distintas castas. Con frecuencia las diferencias entre castas son espectaculares. En la especie asiática *Pheidologeton diversus*, la casta de obreras grandes, especializadas en abrir caminos nivelados para los demás miembros de la colonia, es 500 veces más pesada que la casta pequeña, que realiza todas las tareas propias de una hormiga obrera. La misma dotación génica hace que una larva crezca hasta convertirse en un broddingnagiense o se quede en liliputiense,⁵ dependiendo de qué genes se activen. Las hormigas odre (*Myrmecocystus mexicanum* y otras especies) son tinas de almacenamiento inmóviles, cuyos abdómenes distendidos por el néctar cuelgan del techo del nido como esferas amarillas transparentes. Las tareas normales de defensa del nido, búsqueda de comida y, en este caso, relleno de las tinas vivientes, las realizan obreras normales de abdomen no distendido. Las obreras normales poseen genes que las facultan para ser odres de miel, y las hormigas odre, por lo que a sus genes se refiere, podrían igualmente bien ser obreras normales. Como en el caso de los sexos masculino y femenino, las diferencias visibles en la forma corporal dependen de los genes que se activan. En este caso los factores determinantes son ambientales, quizá la dieta. De nuevo, el zoólogo del futuro podrá leer a partir de los genes, pero no del cuerpo, de cualquier miembro de la especie una imagen completa de las vidas dispares de las distintas castas.

El caracol europeo *Cepaea nemoralis* se presenta en diversos colores y diseños. El color de fondo de la concha puede ser uno de entre seis tonos distintos (en orden de dominancia, en el sentido técnico genético): pardo, rosa oscuro, rosa claro, rosa muy pálido, amarillo oscuro, amarillo claro. Superpuesto al color de fondo puede haber varias bandas, de cero a cinco. A diferencia de los insectos sociales, no es cierto que cada caracol individual esté dotado genéticamente para asu-

5. Habitantes gigantes y minúsculos, respectivamente, de dos de los países imaginarios de *Los viajes de Gulliver*, de Jonathan Swift. (*N. del T.*)

mir cualquiera de las variantes. Estas diferencias tampoco están determinadas por diferentes ambientes de cría. Los caracoles listados poseen genes que determinan su número de listas, y los individuos de color rosa oscuro poseen genes responsables de este color. Pero todos los tipos pueden aparearse con todos los demás.

Las razones para la persistencia de muchos tipos diferentes de caracol (polimorfismo), así como la genética detallada del propio polimorfismo, han sido estudiadas de forma exhaustiva por los zoólogos ingleses A.J. Cain y el malgrado P.M. Sheppard y su escuela. Una parte importante de la explicación evolutiva es que la distribución de la especie abarca hábitats diferentes (bosque, pradera, suelo desnudo) y se necesita un diseño de color distinto para camuflarse de las aves en cada sitio. Los caracoles de los hayedos contienen una mezcla de genes de pradera porque se entrecruzan en los linderos. Un caracol de tierras bajas calizas posee algunos genes que previamente sobrevivieron en el cuerpo de antepasados de bosque; y su herencia, en función de otros genes del caracol, puede manifestarse en forma de listas. Nuestro zoólogo del futuro tendrá que observar el acervo génico de la especie en su conjunto para reconstruir toda la gama de sus mundos ancestrales.

Del mismo modo que la distribución espacial de los caracoles del género *Cepaea* abarca distintos hábitats, los antepasados de cualquier especie han cambiado ocasionalmente de modo de vida. Los ratones domésticos, *Mus musculus*, viven en la actualidad casi exclusivamente en las residencias humanas o sus alrededores, como beneficiarios no deseados de la agricultura humana. Pero, según los estándares evolutivos, este modo de vida es reciente. Tenían que vivir de alguna otra cosa antes de que existiera la agricultura humana. Sin duda, aquella otra manera de vivir era lo bastante similar para que sus habilidades genéticas entraran inmediatamente en servicio cuando apareció la bonanza agrícola. Se ha descrito a ratas y ratones como malas hierbas animales (por cierto, un buen ejemplo de imagen poética genuinamente esclarecedora). Son generalistas, oportunistas portadores de genes que ayudaron a sus antepasados a sobrevivir probablemente a través de una gama considerable de modos de vida; y todavía albergan los genes preagrícolas. Quienquiera que intente «leer» sus genes puede encontrar un confuso palimpsesto de descripciones de mundos ancestrales.

Si retrocedemos todavía más en el tiempo, el ADN de todos los mamíferos debe describir aspectos de ambientes muy antiguos así como de los más recientes. El ADN de un camello estuvo una vez en el mar, pero ha estado fuera de él durante unos buenos 300 millones de años. Ha pasado la mayor parte de la historia geológica reciente en desiertos, programando cuerpos para que resistieran el polvo y conservaran el agua. Como los farallones de arenisca que los vientos del desierto han cincelado con formas fantásticas, como las rocas que las olas del océano han moldeado, el ADN del camello ha sido esculpido para la supervivencia en los antiguos desiertos, y en mares todavía más antiguos, hasta dar camellos modernos. El ADN del camello habla (sólo es necesario que podamos entender su idioma) de los mundos cambiantes de los antepasados de los camellos. Sólo con que pudiéramos leer su idioma, el ADN de los atunes y las estrellas de mar tendría «mar» escrito en su texto. En el ADN de topos y lombrices de tierra se leería «subterráneo». Desde luego, todo el ADN dina además otras muchas cosas. El ADN de tiburones y guepardos diría «caza», así como mensajes distintos acerca del mar y la tierra. El ADN de monos y guepardos dina «leche». El ADN de monos y perezosos diría «árboles». El ADN de ballenas y dugones describe presumiblemente mares muy antiguos, tierras bastante antiguas y mares más recientes: de nuevo, palimpsestos complicados.

Las características del ambiente que se dan de forma frecuente o importante «pesan» mucho en la descripción genética en comparación con características raras o triviales. Los ambientes que residen en el pasado remoto tienen un peso diferente del de los recientes, presumiblemente más bajo, aunque no de ninguna manera obvia. Los ambientes que duraron largo tiempo en la historia de la especie tendrán un peso más prominente en la descripción genética que los acontecimientos ambientales que, por drásticos que pudieran haber parecido en su momento, fueron fogonazos geológicos.

Se ha sugerido poéticamente que el remoto aprendizaje marino de toda la vida terrestre se refleja en la bioquímica de la sangre, de la que se ha dicho que se parece a un mar salado primitivo. También el líquido del huevo de un reptil se ha descrito como un estanque privado, reliquia de los estanques en los que las larvas de sus antepasados anfibios habrían crecido. En la medida en que los animales y sus genes

presentan este sello de la historia antigua, ello será por buenas razones funcionales. No será historia por el bien de la historia. He aquí el tipo de cosas que quiero decir con esto. Cuando nuestros antepasados remotos vivían en el mar, muchos de nuestros procesos bioquímicos y metabólicos se engranaron con la química marina (y nuestros genes se convirtieron en una descripción de dicha química) por razones funcionales. Pero (éste es un aspecto de nuestro razonamiento sobre el «cooperador egoísta») los procesos bioquímicos no sólo se engranan con el mundo externo, sino unos con otros. El mundo al que se adaptaron incluía las demás moléculas del cuerpo y los procesos químicos en los que tomaban parte. A continuación, cuando los remotos descendientes de estos animales marinos se desplazaron a tierra y se adaptaron gradualmente cada vez más a un mundo seco y aéreo, la vieja adaptación mutua de los procesos bioquímicos a cada uno de los otros (e, incidentalmente, a la «memoria» química del mar) persistió. ¿Por qué no habría de ser así, cuando los distintos tipos de moléculas en las células y en la sangre superan de manera tan grande a los distintos tipos de moléculas que se encuentran en el mundo exterior? Es sólo de una manera muy indirecta como los genes dejan entrever descripciones de los ambientes ancestrales. Lo que describen directamente, después de ser traducidos en el lenguaje paralelo de las moléculas de proteína, son las instrucciones para el desarrollo embrionario individual. Es el acervo genético de la especie en su conjunto el que es tallado para encajar en los ambientes que sus antepasados encontraron (razón por la cual he dicho que la especie es un mecanismo estadístico promediador). Es en este sentido indirecto en el que nuestro ADN es una descripción codificada de los mundos en los que sobrevivieron nuestros antepasados. ¿Y acaso no es éste un pensamiento cautivador? Somos archivos digitales del Plioceno africano, incluso de los mares del Devónico; almacenes andantes de la sabiduría de los viejos tiempos. Podríamos pasar toda una vida leyendo en esta antigua biblioteca y morir sin llegar a saciarnos con sus maravillas.

Volviendo a tejer el mundo

Desde que empezó mi educación siempre se me han descrito las cosas con sus colores y sonidos, por alguien con agudos sentidos y una fina percepción de lo que es significativo. Por lo tanto, generalmente pienso en las cosas como coloreadas y resonantes. El hábito explica una parte. El alma explica otra. El cerebro, con su construcción a base de cinco sentidos, hace valer su derecho y explica el resto. Incluyéndolo todo, la unidad del mundo pide que el color se mantenga en él, tenga yo conocimiento de él o no. En lugar de cerrarme la puerta, tomo parte en ello discutiéndolo, feliz en la felicidad de los que están cerca de mí y que ven los magníficos tonos de la puesta de sol o del arco iris.

Helen Keller, *The Story of My Life*
[*La historia de mi vida*] (1902)

Mientras que el acervo genético de una especie es esculpido en un conjunto de modelos de mundos ancestrales, el cerebro de un individuo alberga un conjunto paralelo de modelos del propio mundo del animal. Ambos son equivalentes a descripciones del pasado, y ambos son usados para contribuir a la supervivencia en el futuro. La diferencia es de escala de tiempo y de intimidad relativa. La descripción genética es una memoria colectiva que pertenece a la especie en su conjunto, y que se remonta al pasado indefinido. La memoria del cerebro es privada y contiene las experiencias del individuo desde que nació.

Nuestro conocimiento subjetivo de un lugar familiar lo sentimos realmente como un modelo del lugar. No un modelo a escala preciso, ciertamente menos preciso de lo que pensamos que es, pero un modelo útil para los fines requeridos. Hace algunos años el fisiólogo de Cambridge Horace Barlow (quien, dicho sea de paso, es descendiente directo de Charles Darwin) propuso una manera de abordar esta idea. Barlow está especialmente interesado en la visión, y su razonamiento parte de la constatación de que el reconocimiento de un objeto es un

problema mucho más difícil de lo que nosotros, que vemos aparentemente sin esfuerzo, concebimos de ordinario.

Porque somos dichosamente inconscientes de la formidable e ingeniosa tarea que realizamos cada segundo de nuestra vida de vigilia al ver y reconocer objetos. La tarea de los órganos de los sentidos de destejer los estímulos físicos que los bombardean es fácil comparada con la tarea del cerebro de volver a tejer un modelo interno del mundo del que después pueda hacer uso. El argumento es válido para todos nuestros sistemas sensoriales, pero me referiré en mayor medida a la visión porque es el que mayor significado tiene para nosotros.

Piénsese en el problema que resuelve nuestro cerebro cuando reconoce algo, por ejemplo una letra A; o en el problema de reconocer la cara de una persona determinada. Por una convención gremial, desde hace tiempo se asume que la cara hipotética de la que estamos hablando pertenece a la abuela del distinguido neurobiólogo J. Lettvin, pero sustituyala el lector por cualquier cara que conozca, o por cualquier objeto que pueda reconocer. Aquí no nos referimos a la conciencia subjetiva, con el problema, duro desde el punto de vista filosófico, de lo que significa ser *consciente* de la cara de la abuela de uno. Para empezar, basta con pensar en una célula cerebral que se dispara si, y sólo si, la cara de la abuela aparece en la retina, y esto sólo ya es muy difícil de abordar. Sería fácil si pudiéramos suponer que la cara siempre se proyecta en un lugar determinado de la retina. Podría haber allí una disposición en bocallave, con una región de células retinianas, con la forma de la abuela, conectada a la célula cerebral que emite señales cuando aparece su imagen. Otras células (miembros de la «antibocallave») tendrían que ser inhibitoras, pues de no ser así el sistema nervioso central respondería a una hoja blanca con la misma fuerza que a la cara de la abuela que, junto con todas las demás imágenes concebibles, necesariamente «contendría». La esencia de responder a una imagen clave reside en evitar responder a cualquier otra.

Debe descartarse la estrategia de la bocallave por la misma fuerza de los números. Incluso si Lettvin necesitara reconocer sólo a su abuela, ¿cómo se las arreglaría cuando su imagen cae en una parte diferente de la retina? ¿Cómo arreglárselas con el tamaño y forma cambiantes de su imagen cuando la abuela se acerca o retrocede, cuando gira lateralmente o se inclina hacia atrás, cuando sonrío o frunce el en-

trecejo? Si sumamos todas las combinaciones posibles de bocallaves y antibocallaves, el número alcanza la escala astronómica. Cuando nos damos cuenta de que Lettvin puede reconocer no sólo la cara de su abuela, sino cientos de otras caras, los otros fragmentos de su abuela y de otras personas, todas las letras del alfabeto, todos los miles de objetos a los que una persona normal puede dar nombre al instante, en todas las orientaciones y tamaños aparentes posibles, la explosión de células que se disparan se nos va rápidamente de las manos. El psicólogo americano Fred Attneave, que había llegado a la misma idea general que Barlow, ilustró el asunto con el siguiente cálculo: si sólo hubiera una célula cerebral para tratar, a la manera de la bocallave, cada imagen que podamos distinguir en todas sus presentaciones, el volumen del cerebro tendría que medirse en años luz cúbicos.

Así, pues, con una capacidad cerebral que se mide sólo en cientos de centímetros cúbicos, ¿cómo lo hacemos? La respuesta la propusieron Barlow y Attneave, cada uno por su lado, en los años cincuenta. Ambos sugirieron que los sistemas nerviosos explotan la enorme redundancia que contiene toda información sensorial. Redundancia es un término de la jerga de la teoría de la información, que originalmente desarrollaron los ingenieros, preocupados por la economía de la capacidad de las líneas telefónicas. Información, en el sentido técnico, es el valor de la sorpresa, medida como el inverso de la probabilidad esperada. La redundancia es lo opuesto de la información, una medida de la falta de sorpresa, de lo anticuado. Los mensajes o partes de mensajes redundantes no son informativos porque el receptor, en cierto sentido, ya sabe lo que está llegando. Los periódicos no portan titulares que digan «El Sol salió esta mañana». Esto transmitiría una información prácticamente igual a cero. Pero si llegara una mañana en la que el Sol no saliera, los que escriben titulares, suponiendo que sobreviviera alguno, sacarían mucho partido de ello. El contenido de información sería elevado, medido como el valor de sorpresa del mensaje. Gran parte del lenguaje hablado y escrito es redundante; por ello es posible el lenguaje condensado utilizado en el telégrafo: se pierde la redundancia, se conserva la información.

Todo lo que sabemos sobre el mundo que hay fuera de nuestro cráneo nos llega a través de las neuronas, cuyos impulsos traquetean como ametralladoras. Lo que pasa a través de una neurona es una rá-

faga de «picos», impulsos cuyo voltaje es fijo (o, en todo caso, irrelevante), pero cuyo ritmo de llegada varía significativamente. Pensemos ahora en los principios de la codificación. ¿Cómo traduciríamos la información procedente del mundo exterior, como el sonido de un oboe o la temperatura del agua de una bañera, en un código de pulsos? A primera vista, es un código sencillo: cuanto más caliente esté el agua del baño, más rápidamente debe disparar la ametralladora. En otras palabras, el cerebro tendría un termómetro calibrado en tasas de impulsos. En realidad, éste no es un buen código, porque es antieconómico. Al explotar la redundancia, es posible diseñar códigos que transmiten la misma información a un coste menor de impulsos. Las temperaturas en el mundo permanecen en gran medida constantes durante largos periodos de tiempo. Señalar «Está caliente, está caliente, todavía está caliente...» continuamente mediante un ritmo elevado de pulsos de ametralladora es antieconómico; es mejor decir «Se acaba de calentar» (ahora se puede asumir que permanecerá así hasta nuevo aviso).

Para satisfacción nuestra, esto es lo que hacen principalmente las células nerviosas, no sólo para indicar la temperatura, sino para señalarlo casi todo acerca del mundo. La mayoría de neuronas están sesgadas para señalar *cambios* en el mundo. Si una trompeta toca una larga nota sostenida, una neurona típica que informara al cerebro de ello mostraría la siguiente pauta de impulsos: antes de que la trompeta empiece a sonar, una tasa de disparos baja; inmediatamente después, una tasa de disparos alta; mientras la trompeta siga sosteniendo la nota, la tasa de disparos se amortigua hasta un bisbiseo infrecuente; en el momento en que la trompeta se detiene, la tasa de disparos se eleva, y se amortigua de nuevo hasta un murmullo de reposo. También podría haber una clase de neuronas que se disparen sólo en el inicio de los sonidos y una clase distinta que sólo se active cuando los sonidos desaparecen. Una explotación similar de la redundancia (que explora la *regularidad* del mundo) funciona en las células que informan al cerebro acerca de los cambios de luz, temperatura o presión. Todo lo que hay en el mundo es señalado como *cambio*, y ésta es una economía importante.

Pero ni al lector ni a mí nos parece que el sonido de la trompeta se amortigua. Para nosotros la trompeta parece seguir sonando al mismo volumen y después detenerse abruptamente. Claro que sí. Esto es lo

que cabe esperar de un sistema de codificación ingenioso que no descarta la información, sino que sólo se deshace de la redundancia. Al cerebro sólo se le notifican los cambios, y entonces está en posición de reconstruir el resto. Barlow no lo dice así, pero podríamos decir que el cerebro construye un sonido virtual, utilizando los mensajes procedentes de los nervios provenientes de los oídos. El sonido virtual reconstruido es completo y no abreviado, aun cuando los mismos mensajes son económicamente desguarnecidos hasta que sólo queda la información sobre los cambios. El sistema funciona porque el estado del mundo en un momento determinado no suele ser demasiado distinto del que había en el segundo anterior. Sólo si el entorno cambiara de forma caprichosa, aleatoria y frecuente, sería económico para los órganos de los sentidos señalar continuamente el estado del mundo. Pero resulta que los órganos de los sentidos están preparados para señalar, de manera económica, las discontinuidades del mundo; y el cerebro, que supone correctamente que el mundo no cambia de forma caprichosa y aleatoria, utiliza la información para construir una realidad virtual interna en la que se restaura la continuidad.

El mundo presenta un tipo equivalente de redundancia en el espacio, y el sistema nervioso utiliza el truco correspondiente. Los órganos de los sentidos informan al cerebro acerca de los bordes, y el cerebro rellena los aburridos vacíos entre ellos. Suponga el lector que está mirando un rectángulo negro sobre fondo blanco. La escena entera se proyecta en su retina (puede pensarse en la retina como una pantalla cubierta por un denso tapiz de minúsculas fotocélulas, los bastones y los conos). En teoría, cada fotocélula podría transmitir al cerebro el estado exacto de la luz que cae sobre ella. Pero la escena que estamos mirando es enormemente redundante. Las células que registran el negro tienen una probabilidad abrumadora de estar rodeadas por otras células que registran negro. Casi todas las células que registran el blanco están rodeadas por otras células que señalan blanco. Las excepciones importantes son las células de los bordes. Las que se hallan en el lado blanco del borde señalan blanco, como hacen sus vecinas que se encuentran situadas más hacia dentro del área blanca. Pero sus vecinas del otro lado están en el área negra. El cerebro puede reconstruir teóricamente toda la escena si sólo disparan las células retinianas de los bordes. Si esto se pudiera conseguir habría un enorme ahorro de im-

pulsos nerviosos. De nuevo, se elimina la redundancia y sólo entra la información.

En la práctica, la economía se consigue mediante el elegante mecanismo conocido como «inhibición lateral». He aquí una versión simplificada del principio, utilizando nuestra analogía de la pantalla de fotocélulas. Cada célula fotoeléctrica envía un cable largo al ordenador central (cerebro) y también cables cortos a sus vecinas inmediatas en la pantalla de fotocélulas. Las conexiones cortas inhiben las células vecinas, es decir, reducen su tasa de descarga. Es fácil ver que las mayores frecuencias de descarga procederán sólo de las células que se encuentran a lo largo de los bordes, porque sólo serán inhibidas por un lado. La inhibición lateral de este tipo es común entre las unidades de bajo nivel de los ojos de vertebrados e invertebrados.

Una vez más, podríamos decir que el cerebro construye un mundo virtual que es más completo que la imagen que le transmiten los sentidos. La información que los sentidos suministran al cerebro es principalmente información sobre bordes. Pero el modelo cerebral es capaz de reconstruir las piezas entre los bordes. Como en el caso de las discontinuidades en el tiempo, se consigue economizar por la eliminación (y la posterior reconstrucción en el cerebro) de la redundancia. Esta economía sólo es posible porque en el mundo existen manchas uniformes. Si los tonos y colores del mundo estuvieran salpicados al azar por todas partes, no sería posible una remodelación económica.

Otro tipo de redundancia surge del hecho de que en el mundo real muchas líneas son rectas, o bien suavemente curvadas y, por lo tanto, predecibles (o matemáticamente reconstruibles). Si se especifican los extremos de una línea, la parte intermedia puede rellenarse utilizando una regla sencilla que el cerebro ya «conoce». Entre las neuronas que se han descubierto en el cerebro de los mamíferos están las llamadas «detectoras de líneas», neuronas que disparan siempre que una línea recta, orientada en cierta dirección, se proyecta sobre un lugar determinado de la retina, el llamado «campo retiniano» de la neurona. Cada una de estas células detectoras de líneas tiene sus propias direcciones preferentes. En el cerebro del gato sólo existen dos direcciones preferentes, horizontales y verticales, con un número aproximadamente igual de neuronas para cada dirección; en los monos se acomodan otros ángulos. Desde el punto de vista del argumento de la redundan-

cia, lo que sucede aquí es lo que sigue. En la retina, todas las células situadas a lo largo de una línea recta descargan y la mayoría de estos impulsos son redundantes. El sistema nervioso economiza utilizando una única célula para registrar la línea, etiquetada con su ángulo. Las líneas rectas están especificadas de manera económica únicamente por su posición y dirección, o por sus extremos, no por el valor luminoso de cada punto a lo largo de su longitud. El cerebro rehace una línea virtual en la que se reconstruyen los puntos a lo largo de la línea.

Sin embargo, si una parte de una escena se separa de pronto del resto y empieza a arrastrarse sobre el fondo, esto es una noticia y hay que señalarlo. Los biólogos han descubierto efectivamente neuronas que están silenciosas hasta que algo se mueve contra un fondo inmóvil. Estas células no responden cuando se mueve toda la escena: ello correspondería al tipo de movimiento aparente que el animal vería si él mismo se moviera. Pero el movimiento de un pequeño objeto contra un fondo inmóvil es rico en información, y existen neuronas sintonizadas para detectarlo. De ellas, las más famosas son las llamadas «detectoras de bichos», descubiertas en las ranas por Lettvin (el de la abuela) y sus colegas. Un detector de bichos es una célula que aparentemente es ciega a todo excepto al movimiento de pequeños objetos sobre un fondo fijo. Tan pronto como un insecto se desplaza en el campo cubierto por un detector de bichos, la célula empieza a emitir señales de manera inmediata y masiva, y es probable que la lengua de la rana salga disparada para capturar al insecto. Sin embargo, para un sistema nervioso lo bastante refinado incluso el movimiento de un bicho es redundante si es rectilíneo. Una vez uno ha sido informado de que un bicho está moviéndose uniformemente en dirección norte, uno puede asumir que continuará moviéndose en dicha dirección hasta nuevo aviso. Llevando la lógica un paso más allá, debemos esperar encontrar en el cerebro células detectoras de movimiento de orden superior que sean especialmente sensibles al *cambio* del movimiento, pongamos cambio en dirección o en velocidad. Lettvin y sus colegas hallaron una célula que parece hacer esto, de nuevo en la rana. En su artículo publicado en *Sensory Communication* (1961) describen un experimento concreto como sigue:

Empecemos con un hemisferio gris vacío para el campo visual. Generalmente no hay respuesta de la célula al encendido y apagado de la iluminación. Está silenciosa. Introducimos un pequeño objeto oscuro, digamos de 1 a 2 grados de diámetro, y en un determinado punto de su desplazamiento, casi en cualquier lugar del campo, la célula «advierde» de pronto su presencia. A partir de entonces, siempre que este objeto se mueve, la neurona sigue su recorrido. Cada vez que se mueve, incluso con la menor de las sacudidas, hay un estallido de impulsos que se amortigua hasta un murmullo que continúa mientras el objeto sea visible. Si se mantiene el movimiento del objeto, los estallidos señalan discontinuidades en el movimiento, como el girar esquinas, la inversión del movimiento, etcétera, y tales estallidos tienen lugar sobre un murmullo continuo de fondo que nos dice que el objeto es visible para la célula...

Resumiendo, es como si el sistema nervioso estuviera sintonizado a sucesivos niveles jerárquicos para responder fuertemente a lo inesperado y débilmente o nada a lo esperado. Lo que sucede a niveles sucesivamente superiores es que la definición de lo que es esperado se hace cada vez más refinada. Al nivel más bajo, cada mancha de luz es noticia. En el nivel siguiente, sólo los bordes son «noticia». A un nivel todavía superior, puesto que muchos bordes son rectos, sólo los extremos de los bordes son noticia. Más arriba aún, sólo el movimiento es noticia. Después, sólo los cambios en la dirección o velocidad del movimiento. En términos de Barlow, derivados de la teoría de códigos, podríamos decir que el sistema nervioso utiliza palabras cortas y económicas para mensajes que se dan frecuentemente y son esperables; palabras largas y caras para mensajes que se dan raramente y no son esperados. Es un poco como el lenguaje, en el que (la generalización se conoce como ley de Zipf) las palabras más cortas del diccionario son las que con más frecuencia se utilizan en el habla. Para llevar esta idea a un extremo, la mayor parte del tiempo el cerebro no necesita que se le diga nada, porque lo que está sucediendo es la norma. El mensaje sería redundante. El cerebro está protegido de la redundancia por una jerarquía de filtros, cada uno de ellos sintonizado para eliminar rasgos esperados de un tipo determinado.

De ahí se sigue que el conjunto de filtros nerviosos constituye un tipo de descripción sumaria de la norma, de las propiedades estadísticas del mundo en el que el animal vive. Es el equivalente nervioso de nuestra intuición del capítulo anterior: que los genes de una especie llegan a constituir una descripción estadística de los mundos en los que sus antepasados fueron seleccionados de forma natural. Ahora vemos que las unidades sensoriales codificadoras con las que el cerebro se enfrenta al ambiente constituyen asimismo una descripción estadística de dicho ambiente. Están sintonizadas para descontar lo común y resaltar lo raro. Nuestro hipotético zoólogo del futuro, por lo tanto, tiene que ser capaz, mediante la inspección del sistema nervioso de un animal desconocido y la medición de los sesgos estadísticos en su sintonización, de reconstruir las propiedades estadísticas del mundo en el que el animal vivió, de extraer lo que es común y lo que es raro en el mundo de dicho animal.

La inferencia sería indirecta, igual que en el caso de los genes. No leeríamos el mundo del animal como una descripción directa. En lugar de ello, inferiríamos cosas acerca del mundo del animal inspeccionando el glosario de abreviaciones que su cerebro usara para describirlo. A los funcionarios públicos les encantan los acrónimos tales como PAC (Política Agrícola Común) y CAICYT (Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica); los burócratas novatos necesitan ciertamente un glosario de tales abreviaturas, un libro de códigos. Si encontramos uno de tales libros de códigos en la calle, podemos averiguar de qué ministerio procede viendo qué frases se han abreviado, presumiblemente porque son de uso corriente en aquel ministerio. Un libro de códigos interceptado no es un mensaje concreto acerca del mundo, pero es un resumen estadístico del tipo de mundo para cuya descripción económica fue diseñado el código.

Podemos imaginar que cada cerebro está equipado con un aparador de imágenes básicas, útiles para modelar características importantes o comunes del mundo del animal. Aunque, siguiendo a Barlow, he destacado el aprendizaje como el medio por el que se abastece el aparador, no hay ninguna razón para que la propia selección natural, operando sobre los genes, no haga parte del trabajo de llenar el aparador. En este caso, siguiendo la lógica del capítulo anterior, podremos decir que el aparador del cerebro contiene imágenes del pasado ancestral de la es-

pecie. Podríamos denominarlo inconsciente colectivo, si la frase no estuviera empañada por asociación.

Pero los sesgos del juego de imágenes en la alacena no sólo reflejarán lo que es estadísticamente inesperado en el mundo. La selección natural asegurará que el repertorio de representaciones virtuales esté asimismo bien dotado con imágenes que son de particular prominencia o importancia en la vida del tipo concreto de animal y en el mundo de sus antepasados, aunque éstos no sean especialmente comunes. Un animal puede necesitar únicamente una vez en la vida reconocer un diseño complicado, pongamos por caso la forma de una hembra de su especie, pero en esta ocasión tiene una importancia vital que lo haga correctamente, y que lo haga sin demora. Para los seres humanos, las caras tienen una importancia especial, y al mismo tiempo son comunes en nuestro mundo. Lo mismo ocurre en los monos sociales. Se ha encontrado que el cerebro de los monos posee una clase especial de células que sólo disparan a toda potencia cuando se les presenta una cara completa. Ya hemos visto que los seres humanos con determinados tipos de lesiones cerebrales localizadas experimentan un tipo muy peculiar, y revelador, de ceguera selectiva. No pueden reconocer las caras. Pueden ver todo lo demás, aparentemente de manera normal, y pueden ver que una cara tiene una forma, con rasgos. Pueden describir la nariz, los ojos y la boca. Pero no pueden siquiera reconocer la cara de la persona a quien más quieren en el mundo.

Las personas normales no sólo reconocen caras. Parece que tenemos un ansia casi indecente por verlas, estén realmente allí o no. Vemos caras en las manchas de humedad en el techo, en los contornos de una ladera (como las ilustraciones recogidas en *Escalando el monte Improbable*), en las nubes o en el relieve de Marte. Generaciones enteras de observadores de la Luna se han visto impulsados, por la menos prometedora de las materias primas, a inventar una cara en la pauta de cráteres sobre nuestro satélite. El *Daily Express* del 15 de enero de 1998 dedicaba más de una página completa, con titular a toda plana, a la historia de una mujer de la limpieza irlandesa que vio la cara de Jesús en su trapo para el polvo: «Ahora se espera que una riada de peregrinos acuda a su casa colindante... El sacerdote de la parroquia declaró que nunca había visto nada parecido en sus 34 años de sacerdocio». La fotografía acompañante muestra una mancha de pulimento

sucio sobre un trapo que recuerda lejanamente una cara de algún tipo: hay una ligera indicación de un ojo a un lado de lo que podría ser una nariz; al otro lado se ve una ceja inclinada que le da cierto parecido con Haroíd MacMillan, el político conservador y primer ministro, aunque supongo que incluso Haroíd MacMillan podría parecerse a Jesús para una mente predispuesta. El *Express* nos recuerda historias parecidas, entre ellas el «bollo de monja» que se servía en un café de Nashville, el cual «se parecía a la cara de la Madre Teresa, de 86 años» y provocó un gran revuelo hasta que «la anciana monja escribió al café pidiendo que se retirara el bollo».

La avidez del cerebro por componer caras cuando se le ofrece el más mínimo estímulo promueve una notable ilusión. Consígase una máscara ordinaria de una cara humana: la cara del presidente Clinton, o cualquiera de las que se venden para los bailes de disfraces. Coloquese derecha bajo una buena iluminación y mírese desde un lugar alejado de la habitación. Si se la mira en su posición normal convexa parece sólida, lo que no es sorprendente. Pero gírese ahora la máscara de manera que esté encarada en la dirección contraria al observador, y mírese el lado cóncavo desde el otro lado de la habitación. La mayoría de gente ve inmediatamente la ilusión. Si el lector no lo consigue, intente ajustar la luz. Puede ayudar si cierra un ojo, pero no es en absoluto necesario. La ilusión es que la cara convexa de la máscara parece cóncava. La nariz, las cejas y la boca se proyectan hacia el observador y parecen más cercanas que las orejas. Es incluso más sorprendente si uno se mueve de un lado a otro, o arriba y abajo. La cara, aparentemente maciza, parece girar con el observador, de una manera extraña, casi mágica.

No estoy hablando de la experiencia ordinaria que tenemos cuando los ojos de un buen retrato parece que nos sigan por toda la habitación. La ilusión de la máscara hueca es mucho más fantasmal. Parece flotar luminosamente en el espacio. Parece girar *realmente*. Tengo una máscara de la cara de Einstein montada en mi cuarto, por el lado cóncavo, y los visitantes se quedan boquiabiertos cuando la ven. La ilusión resulta más sorprendente aún si se instala la máscara en una plataforma giratoria que se mueve lentamente. A medida que la cara convexa gira ante uno, se la ve moverse al modo de «realidad normal». Pero después aparece la cara cóncava y ocurre algo extraordinario. Se ve otra cara

maciza, pero que gira en la dirección opuesta. Puesto que una cara (por ejemplo, la cara real sólida) está girando en el sentido de las agujas del reloj mientras que la otra, la cara seudosólida, parece estar girando en el sentido contrario a las agujas del reloj, se diría que la cara que aparece a la vista girando se traga la cara que desaparece al girar. A medida que la rotación continúa, se puede ver la cara en realidad hueca pero aparentemente maciza, que gira firmemente en la dirección equivocada durante un momento, antes que la cara real reaparezca y se trague la cara virtual. Toda la experiencia de observar esta ilusión es bastante inquietante y sigue siéndolo por más que se siga mirándola durante largo tiempo. Uno no se acostumbra a ella y la ilusión no se pierde.

¿Qué es lo que sucede? Podemos plantear la respuesta en dos etapas. Primera, ¿por qué vemos la cara cóncava de la máscara como convexa? Segunda, ¿por qué parece girar en la dirección equivocada? Ya nos hemos puesto de acuerdo en que el cerebro es muy bueno a la hora de construir caras en su sala de simulación interna (y en que está ansioso por hacerlo). La información que los ojos están suministrando al cerebro es, desde luego, compatible con el hecho de que la máscara es hueca, pero también lo es (apenas) con una hipótesis alternativa: que es sólida. Y el cerebro, en su simulación, se inclina por la segunda alternativa, presumiblemente debido a su afán de ver caras. De manera que decide en contra del mensaje que le llega de los ojos y que dice: «Esto está vacío»; en lugar de ello, oye los mensajes que dicen: «Esto es una cara, esto es una cara, cara, cara, cara». Las caras son siempre convexas. De modo que el cerebro toma un modelo de cara de su alacena que es, por naturaleza, convexo.

Pero, después de haber construido su cara aparentemente convexa, el cerebro es cogido en una contradicción cuando la máscara empieza a girar. Para simplificar la explicación, supóngase que la máscara es la de Oliver Cromwell y que sus famosas arrugas son visibles desde ambos lados de la máscara. Cuando mira al interior vacío de la nariz, que en realidad se aleja del observador, el ojo mira directamente al lado derecho de la nariz, donde hay una verruga prominente. Pero la nariz virtual construida apunta aparentemente hacia el observador, no se aleja de él, y la verruga se encuentra en lo que, desde el punto de vista del Cromwell virtual, sería su lado izquierdo, como si estuviera mirando la

imagen especular de Cromwell. A medida que la máscara gira, si la cara fuera realmente convexa nuestro ojo vería más del lado que esperaría ver más y menos del lado que esperaría ver menos. Pero puesto que la máscara está en realidad al revés, ocurre lo contrario. Las proporciones relativas de la imagen retiniana cambian de la manera que el cerebro esperaría si la cara fuera cóncava pero girara en la dirección opuesta. Y ésta es la ilusión que vemos. El cerebro resuelve la inevitable contradicción de la única manera posible, dada su tozuda insistencia en que la máscara es convexa: simula un modelo virtual de una cara que se traga otra cara.

El raro trastorno cerebral que destruye nuestra capacidad de reconocer caras se llama prosopagnosia. Es causado por lesiones en partes concretas del cerebro. Este mismo hecho apoya la importancia de un «aparador de caras» en el cerebro. No lo sé, pero apostaría a que los prosopagnósicos no pueden ver la ilusión de la máscara hueca. Francis Crick comenta la prosopagnosia en su libro *La búsqueda científica del alma* (1994), junto con otras condiciones clínicas reveladoras. Por ejemplo, un paciente encontró muy alarmante la siguiente condición, lo que, como observa Crick, no es sorprendente:

... objetos o personas que veía en un lado aparecían de repente en otro sin que ella tuviera conciencia de que se hubieran movido. Esto resultaba particularmente atemorizante si lo que deseaba era cruzar una calle, ya que un coche que en un principio parecía muy lejano de pronto se encontraba muy próximo... Su experiencia del mundo era más parecida a la que nosotros podemos experimentar en la pista de baile de una discoteca con luz estroboscópica.

Esta mujer poseía un almacén mental lleno de imágenes para ensamblar su mundo virtual, exactamente igual que hacemos todos nosotros. Es probable que las imágenes fueran perfectamente buenas. Pero algo había fallado en su programa para desplegarlas en un mundo virtual que cambiaba paulatinamente. Otros pacientes han perdido su capacidad de construir la profundidad virtual. Ven el mundo como si estuviera hecho de recortes planos de cartón. Y aún otros pacientes sólo pueden reconocer los objetos si se presentan en un ángulo familiar. El resto de nosotros, después de haber visto, pongamos por caso, una ca-

cerola desde un lado, podemos reconocerla sin esfuerzo desde arriba. Estos pacientes han perdido presumiblemente una cierta capacidad de manipular imágenes virtuales y de hacerlas girar en cualquier sentido. La tecnología de la realidad virtual nos proporciona un lenguaje para pensar acerca de tales habilidades, y éste será el tema que presentaré a continuación.

No me entretendré en los detalles de la realidad virtual del momento, que con toda seguridad quedarán obsoletos. La tecnología cambia tan rápidamente como todo lo demás en el mundo de los ordenadores. Lo que ocurre esencialmente es lo que sigue. Uno se calza un casco que presenta a cada uno de los ojos una minúscula pantalla de ordenador. Las imágenes de las dos pantallas son casi las mismas, pero desalineadas para conferir la ilusión estereoscópica de las tres dimensiones. La escena es la que se haya programado en el ordenador: quizá el Partenón, intacto y en sus colores chillones originales; un paisaje marciano imaginado; el interior de una célula, enormemente aumentado. Hasta aquí, yo podía estar describiendo un filme ordinario en 3-D. Pero la máquina de realidad virtual proporciona una calle de dos direcciones. El ordenador no sólo nos presenta escenas, sino que responde a nuestras indicaciones. El casco está conectado de manera que registre todos los giros de nuestra cabeza y otros movimientos corporales que, en el curso normal de los acontecimientos, afectarían a nuestro punto de vista. El ordenador está informado continuamente de todos estos movimientos y (aquí está la parte ingeniosa) está programado para cambiar la escena presentada a los ojos, exactamente de la manera en que cambiaría si uno estuviera moviendo realmente la cabeza. Cuando uno gira la cabeza, las columnas del Partenón, pongamos por caso, giran alrededor y uno se encuentra mirando una estatua que antes estaba «detrás» de uno.

Un sistema más avanzado puede consistir en un vestido ajustado como una media y dotado de válvulas de tensión que supervisan las posiciones de todas nuestras extremidades. El ordenador puede saber ahora cuándo damos un paso, nos sentamos, nos levantamos o agitamos los brazos. Ahora podemos andar de un extremo al otro del Partenón y ver cómo las columnas pasan por nuestro lado a medida que el ordenador cambia las imágenes en simpatía con nuestros pasos. Hay que andar con cuidado, porque, recuérdese, no estamos realmente en el

Partenón, sino en una sala de ordenadores atestada. Los sistemas de realidad virtual actuales, efectivamente, es probable que lo conecten a uno al ordenador mediante un complicado cordón umbilical de cables, de modo que postularemos una conexión futura desprovista de enredos, mediante radio, o un haz de datos de radiación infrarroja. Ahora se puede andar libremente en un mundo real vacío y explorar el mundo virtual de fantasía que nos han programado. Puesto que el ordenador sabe donde está el vestido ajustado, no hay ninguna razón por la que no pueda representar nuestro cuerpo para nosotros como una forma humana completa, un *avatar*,¹ lo que nos permite mirar nuestras «piernas», que pueden ser muy distintas de las piernas reales. Podemos mirar nuestras manos de avatar mientras se mueven en imitación de nuestras manos reales. Si utilizamos estas manos para coger un objeto virtual, por ejemplo una urna helenística, la urna parecerá ascender en el aire mientras la «levantamos».

Si alguna otra persona, que puede hallarse en otro país, calza otro conjunto de avíos conectado al mismo ordenador, en principio uno puede ser capaz de ver a su avaral e incluso de estrecharle la mano, aunque con la tecnología actual podemos encontramos que cada uno pasa a través del otro como fantasmas. Técnicos y programadores están trabajando todavía en la manera de crear la ilusión de textura y la «sensación» de resistencia sólida. Cuando visité la principal compañía de realidad virtual de Inglaterra, me contaron que reciben muchas cartas de personas que desean una pareja sexual virtual. Es posible que, en el futuro, amantes separados por el Atlántico puedan acariciarse a través de Internet, aunque incomodados por la necesidad de llevar guantes y un vestido ajustado conectado a válvulas de tensión y almohadillas de presión.

Situemos ahora la realidad virtual un poco más lejos de los sueños y más cerca de la utilidad práctica. Los médicos de hoy se valen del ingenioso endoscopio, un refinado tubo que se inserta en el cuerpo de un paciente a través de la boca o el recto y que es utilizado para el diagnóstico e incluso para la intervención quirúrgica. Mediante el equivalente de tirar de alambres, el cirujano dirige el largo tubo a través de los recodos del intestino. El mismo tubo tiene una minúscula cámara

1. En la mitología hindú, encarnación terrestre de alguna deidad. (*N. del T.*)

de televisión en su extremo y un tubo de luz para iluminar el camino. El extremo del tubo puede dotarse asimismo de varios instrumentos de control remoto que el cirujano puede controlar, como microescalpelo y pinzas.

En la endoscopia convencional, el cirujano ve lo que está haciendo mediante el uso de una pantalla ordinaria de televisión, y opera los controles remotos utilizando sus dedos. Pero, como han advertido varios autores (entre ellos Jaron Lanier, que fue quien acuñó la expresión «realidad virtual»), es en principio posible transmitir al cirujano la ilusión de que se ha encogido y se encuentra realmente dentro del cuerpo del paciente. Esta idea está en fase de investigación, de manera que me valdré de una fantasía sobre cómo puede funcionar la técnica en el siglo que viene. La cirujana del futuro no tiene ninguna necesidad de lavarse y restregarse manos y brazos, porque no necesita acercarse a su paciente. Se sitúa en una zona amplia y abierta, conectada por radio al endoscopio que hay en el interior del intestino del paciente. Las pantallas en miniatura que tiene frente a sus dos ojos le presentan una imagen estereoscópica aumentada del interior del paciente justo delante del endoscopio. Cuando la cirujana mueve su cabeza hacia la izquierda, el ordenador hace girar automáticamente la punta del endoscopio hacia la izquierda. El ángulo de visión de la cámara en el interior del intestino se mueve fielmente para seguir los movimientos de la cabeza de la cirujana en los tres planos. Ésta hace que el endoscopio avance a lo largo del intestino mediante sus pasos. Lentamente, para no dañar al paciente, el ordenador empuja el endoscopio hacia adelante, y su dirección está controlada siempre por la dirección en la que, en una habitación completamente distinta, la cirujana camina. Ella siente como si realmente estuviera andando por el interior del intestino. Ni siquiera siente claustrofobia. Siguiendo la práctica endoscópica actual, el intestino ha sido cuidadosamente hinchado con aire, pues de otro modo las paredes presionarían a la cirujana y la obligarían a arrastrarse en vez de caminar.

Cuando encuentra lo que busca, por ejemplo un tumor maligno, la cirujana selecciona un instrumento de su bolsa de herramientas virtual. Quizá lo más conveniente sea modelarlo como una sierra de cadena, cuya imagen es generada en el ordenador. Mientras mira el tumor, aumentado y en tres dimensiones, a través de las pantallas estereoscópi-

cas de su casco, la cirujana ve la sierra de cadena virtual en sus manos y se dispone a trabajar, extirpando el tumor, como si se tratara de un tocón de árbol que hay que arrancar del jardín. En el interior del paciente real, el equivalente espejular de la sierra de cadena es un haz de láser ultrafino. Como si fuera a través de un pantógrafo, los movimientos grandes de todo el brazo de la cirujana cuando levanta la sierra son reducidos, a través del ordenador, al equivalente de los minúsculos movimientos del cañón láser que hay en la punta del endoscopio.

Para mi propósito sólo necesito decir que es teóricamente posible crear la ilusión de andar a través del intestino de alguien utilizando las técnicas de la realidad virtual. No sé si esto ayudará realmente a los cirujanos. Sospecho que sí, aunque un asesor clínico al que he consultado es un poco escéptico. Este mismo cirujano se refiere a él mismo y a sus colegas gastroenterólogos como fontaneros glorificados. Precisamente, los fontaneros utilizan versiones a gran escala de los endoscopios para explorar tuberías, y en Norteamérica incluso envían «cerdos» mecánicos para que se abran camino a través de las obstrucciones de los drenajes. Es evidente que los métodos que imaginé para un cirujano funcionarían también para un fontanero. El fontanero podría «caminar» (¿o «nadar»?) a lo largo de la tubería de agua virtual con una lámpara de minero virtual en su casco y con un pico virtual en su mano para eliminar las obstrucciones.

El Partenón de mi primer ejemplo no existía en ningún otro lugar que el ordenador. El ordenador podría habernos presentado ángeles, arpías o unicornios alados. Mi endoscopista y mi fontanero hipotéticos, en cambio, andaban a través de un mundo virtual que estaba obligado a parecerse a una porción cartografiada de la realidad, el interior real de un drenaje o el intestino de un paciente. El mundo virtual que aparecía ante la cirujana en sus pantallas estereoscópicas, hay que admitirlo, estaba construido en un ordenador, pero lo estaba de una manera disciplinada. Había un cañón láser real que era controlado, aunque se presentaba como una sierra de cadena porque ésta se sentiría como una herramienta natural para extirpar un tumor cuyo tamaño aparente era comparable al cuerpo de la propia cirujana. La forma de la construcción virtual reflejaba, de la manera más conveniente para la operación de la cirujana, un detalle del mundo real del interior del paciente. Dicha realidad virtual *forzada* es esencial en este capítulo. Creo que cada

especie que posee un sistema nervioso la utiliza para construir un modelo de su propio mundo particular, forzado por la continua puesta al día a través de los órganos de los sentidos. La naturaleza del modelo puede depender de la manera en que la especie implicada lo utilizará, al menos tanto como de nuestra concepción de la naturaleza del mundo mismo.

Piénsese en una gaviota que planea diestramente dejándose llevar por el viento en lo alto de un acantilado sobre el mar. Puede que no bata las alas, pero esto no significa que sus músculos alares estén ociosos. Éstos, y los de la cola, están realizando constantemente ajustes minúsculos, adaptando de manera sensible y fina las superficies de vuelo del ave a cada remolino, cada matiz del aire a su alrededor. Si alimentamos un ordenador con la información sobre el estado de todos los nervios que controlan estos músculos, en cada momento, el ordenador podría en principio reconstruir cada detalle de las corrientes de aire a través de las cuales el ave se deslizaba. Lo haría suponiendo que la gaviota estaba bien diseñada para permanecer en el aire, y sobre esta suposición construiría un modelo continuamente puesto al día del aire a su alrededor. Sería un modelo dinámico, como el modelo que hace un hombre del tiempo del sistema meteorológico mundial, que es continuamente revisado por los nuevos datos que suministran los buques meteorológicos, los satélites y las estaciones meteorológicas en tierra y puede extrapolarse para predecir el futuro. El modelo meteorológico nos informa del tiempo que hará mañana; el modelo de la gaviota es teóricamente capaz de «informar» al ave sobre los movimientos anticipatorios que deben ejecutar los músculos de las alas y la cola con el fin de planear en el segundo siguiente.

El punto hacia el que nos estamos abriendo paso es, desde luego, que aunque ningún programador humano ha construido todavía un modelo de ordenador para informar a las gaviotas de cómo ajustar sus músculos alares y caudales, es seguro que un modelo de este tipo está funcionando continuamente en el cerebro de nuestra gaviota y de cualquier otra ave en vuelo. Modelos similares, preprogramados a grandes rasgos por los genes y la experiencia previa, y que están siendo puestos continuamente al día por nuevos datos sensoriales de milisegundo en milisegundo, están en marcha en el interior del cráneo de cada pez que nada, de cada caballo que galopa, de cada murciélago que detecta su entorno mediante el eco.

Paúl MacCready es un ingenioso inventor conocido por sus máquinas voladoras espléndidamente económicas, *Gossamer Cónдор* y *Gossamer Albatross*, que son de propulsión humana, y *Solar Challenger*, propulsada mediante energía solar.² Asimismo, en 1985 construyó una réplica volante de *Quetzalcoatlus*, un pterosaurio gigante del Cretácico. Este enorme reptil volador, con una envergadura alar comparable a la de una avioneta, carecía casi de cola y, por lo tanto, era muy inestable en el aire.³ John Maynard Smith, que se formó como ingeniero aeronáutico antes de pasarse a la zoología, señaló que esto le habría conferido ventajas de maniobrabilidad, pero exigía un control preciso y constante de las superficies de vuelo. Sin un ordenador rápido para ajustar continuamente su compensación, la réplica de MacCready se habría estrellado. El *Quetzalcoatlus* real debía tener un ordenador equivalente en su cabeza, por la misma razón. Los primeros pterosaurios tenían una cola larga, en algunos casos terminada en lo que parece una paleta de ping-pong, que les habría conferido gran estabilidad a costa de la maniobrabilidad. Parece que en la evolución de pterosaurios posteriores casi sin cola como *Quetzalcoatlus* hubo un cambio de estable pero poco maniobrable a maniobrable pero inestable. La misma tendencia puede verse en la evolución de los aviones construidos por el hombre. En ambos casos, la tendencia sólo es posible aumentando la potencia del ordenador. Como en el caso de la gaviota, el ordenador de a bordo del pterosaurio, en el interior de su cráneo, tuvo que hacer funcionar un modelo de simulación del animal y del aire a través del cual volaba.

El lector y yo, nosotros, somos humanos, somos mamíferos, somos animales, habitamos en un mundo virtual, construido a partir de elementos que son, a niveles sucesivamente más altos, útiles para representar el mundo real. Desde luego, nos sentimos como si estuviéramos firmemente instalados en el mundo real... que es exactamente como debe ser si nuestro programa de realidad virtual limitada debe servir para algo. Sirve para mucho, porque es muy bueno, y sólo nos damos cuenta de él en las raras ocasiones en las que algo no funciona bien.

2. Véase «Vuelo de propulsión humana», de M. Drela y J. S. Langford, en *Investigación y ciencia* (1986), 112:64-71. (N. del T.)

3. Véase «Pterosaurios», de W. Langston, en *Investigación y ciencia* (1981), 55:80-90. (N. del T.)

Cuando ocurre tal cosa experimentamos una ilusión o una alucinación, como la ilusión de la máscara hueca antes mencionada.

El psicólogo británico Richard Gregory ha prestado una atención especial a las ilusiones visuales como medio para estudiar el funcionamiento del cerebro. En su libro *Ojo y cerebro* (5ª edición inglesa de 1998) considera que la visión es un proceso activo en el que el cerebro establece hipótesis acerca de lo que está ocurriendo ahí fuera, y después contrasta dichas hipótesis con los datos que le llegan desde los órganos de los sentidos. Una de las ilusiones visuales más conocidas es el cubo de Necker. Se trata del dibujo de un cubo hueco mediante una línea sencilla, como un cubo hecho con varillas de acero. El dibujo es una forma bidimensional de tinta sobre papel. Pero un ser humano normal lo ve como un cubo. El cerebro ha creado un modelo tridimensional basado en el modelo bidimensional sobre el papel. En realidad, éste es el tipo de cosa que el cerebro hace casi cada vez que miramos una imagen. La forma plana de la tinta sobre el papel es igualmente compatible con dos modelos cerebrales tridimensionales alternativos. Obsérvese el dibujo durante unos segundos y se verá cómo da una vuelta de campana. La faceta que previamente parecía estar más cerca del observador parece encontrarse ahora más lejos. Continúese observando, y cambiará de nuevo al cubo original. El cerebro podría haber sido diseñado para adoptar, arbitrariamente, uno de los dos modelos de cubo, pongamos por caso el primero que vio, aunque el otro modelo habría sido igualmente compatible con la información procedente de las retinas. Pero de hecho el cerebro adopta la otra opción de hacer funcionar cada modelo, o hipótesis, alternativamente durante unos cuantos segundos cada vez. De ahí los estados alternos del cubo aparente, lo que descubre las cartas. Nuestro cerebro construye un modelo tridimensional. Es realidad virtual en la cabeza.

Cuando miramos una caja de madera de verdad, a nuestro programa de simulación se le proporciona información adicional que le permite llegar a una preferencia clara por uno de los dos modelos internos. Por ello vemos la caja sólo de una manera, y no hay alternancia. Pero ello no minimiza la verdad de la lección general que nos enseña el cubo de Necker. Siempre que miramos algo, hay un sentido en el que lo que nuestro cerebro utiliza realmente es un modelo cerebral de este algo. El modelo del ejemplo, como el Partenón de mi primer

ejemplo, es construido. Pero, a diferencia del Partenón (y quizá de las visiones que vemos en sueños), y como el modelo de ordenador de la cirujana del interior de su paciente, no es totalmente inventado: está forzado por la información que le suministra el mundo exterior.

Una ilusión más potente de solidez es la que transmite la estereoscopia, la ligera discrepancia entre las dos imágenes que captan los ojos derecho e izquierdo. Es esto lo que se explota en las dos pantallas de un casco de realidad virtual. Mantenga el lector su mano derecha, con el pulgar dirigido hacia él, a una distancia de unos 30 centímetros de su cabeza, y mire algún objeto distante, por ejemplo un árbol, con ambos ojos abiertos. Verá dos manos. Corresponden a las imágenes que ven los dos ojos. El lector puede descubrir rápidamente a qué ojo corresponde cada imagen cerrando primero un ojo y después el otro. Las dos manos parecen hallarse en lugares ligeramente distintos, porque los dos ojos convergen desde ángulos distintos y las imágenes en las dos retinas son en consecuencia diferentes, y lo son de forma reveladora. También los dos ojos tienen una visión ligeramente distinta de la mano. El ojo izquierdo ve un poco más de la palma, el derecho un poco más del dorso.

Ahora, en vez de mirar al árbol distante, mírese el lector la mano, de nuevo con ambos ojos. En lugar de dos manos en primer término y un árbol en segundo plano, verá una mano de aspecto macizo y dos árboles. Pero la imagen de la mano sigue proyectándose sobre lugares distintos de las dos retinas del lector. Lo que esto significa es que el programa de simulación del lector *ha fabricado* un único modelo de la mano, un modelo en tres dimensiones. Más aún, el modelo tridimensional único ha utilizado información procedente de ambos ojos. El cerebro amalgama sutilmente ambos conjuntos de información y compone un modelo útil de una mano sólida, única y tridimensional. Incidentalmente, todas las imágenes retinianas, desde luego, están cabeza abajo, pero esto no importa porque el cerebro construye su modelo de simulación de la manera que mejor se ajusta a su propósito y define este modelo como el que se encuentra en la posición adecuada.

Los ardidés computacionales que utiliza el cerebro para construir un modelo tridimensional a partir de las imágenes bidimensionales son sorprendentemente refinados, y son la base de la que quizá sea la más impresionante de todas las ilusiones. Esto se remonta a un descubri-

miento del psicólogo húngaro Bela Julesz en 1959. Un estereoscopio normal presenta la misma fotografía al ojo derecho y al izquierdo, pero tomadas desde ángulos adecuadamente distintos. El cerebro junta ambas imágenes y ve una escena impresionantemente tridimensional. Julesz hizo lo mismo, salvo que sus imágenes eran puntos mosqueteados aleatorios. Al ojo izquierdo y al derecho se les presentaba el mismo patrón aleatorio, pero con una diferencia crucial. En un experimento típico de Julesz, una superficie del modelo, por ejemplo un cuadrado, tenía sus puntos aleatorios desplazados a un lado, la distancia apropiada para crear la ilusión estereoscópica. Y el cerebro ve la ilusión (aparece una mancha cuadrada) aunque no haya ni la más ligera traza de cuadrado en ninguna de las dos imágenes. El cuadrado se presenta *sólo* en la discrepancia entre las dos imágenes. El cuadrado parece muy real al observador, pero realmente no se encuentra en parte alguna, salvo en el cerebro. El efecto Julesz es la base de las ilusiones del «ojo mágico» tan populares en la actualidad. En un *tour de forcé* del arte del explicador, Steven Pinker dedica una pequeña sección de *How the Mind Works* (1998) al principio en el que se basan estas imágenes. No voy a intentar siquiera mejorar su explicación.

Hay una manera fácil de demostrar que el cerebro funciona como un refinado ordenador de realidad virtual. En primer lugar, mire el lector a su alrededor moviendo los ojos. A medida que los ojos giran, las imágenes en las retinas del lector se mueven como si éste estuviera en pleno terremoto. Pero el lector no ve un terremoto. Para él, la escena parece tan firme como una roca. Desde luego, estoy preparando el terreno para decir que el modelo virtual en nuestro cerebro está construido para permanecer firme. Pero aquí no acaba la demostración, porque hay otra manera de hacer que la imagen en la retina del lector se mueva. Golpee ligeramente el lector uno de sus globos oculares a través de la piel del párpado. La imagen en la retina se moverá de la misma manera que antes. De hecho, el lector puede, si tiene la destreza suficiente con su dedo, imitar el efecto de girar la vista. Pero ahora pensará realmente que ve moverse la tierra. Toda la escena se desliza, como si se estuviera presenciando un terremoto.

¿Cuál es la diferencia entre los dos casos? Ese ordenador que es el cerebro ha sido programado para tener en cuenta los movimientos normales del ojo y tomarlos en consideración a la hora de construir su mo-

délo computado del mundo. Aparentemente, el modelo cerebral utiliza la información procedente no sólo de los ojos, sino también de las instrucciones para mover los ojos. Siempre que el cerebro emite una orden a los músculos oculares para que muevan el ojo, una copia de esta orden es enviada a la parte del cerebro que está construyendo el modelo interno del mundo. Después, cuando los ojos se mueven, el programa de realidad virtual del cerebro es avisado de que *espere* que las imágenes retinianas se muevan exactamente en la cantidad justa, y hace que el modelo compense el movimiento. De modo que se ve que el modelo construido del mundo permanece quieto, aunque puede verse desde otro ángulo. Si la tierra se mueve en cualquier otro momento que no sea aquel en el que al modelo se le dice que espere movimiento, el modelo virtual se comporta en consecuencia. Esto está muy bien, porque puede que realmente haya un terremoto. Excepto que uno puede engañar al sistema golpeando el globo ocular como demostración final en la que se utiliza al lector como conejillo de Indias, éste puede girar muchas veces sobre sí mismo hasta aturdirse. Después, deténgase y mire fijamente el mundo. Parecerá que éste gira, aunque la razón le dice al lector que se trata de una rotación que no lo lleva a ninguna parte. Las imágenes retinianas no se están moviendo, pero los acelerómetros de sus oídos (que funcionan detectando los movimientos de fluido en los llamados canales semicirculares) están diciéndole al cerebro que el lector está girando. El cerebro instruye al programa de realidad virtual para que espere ver que el mundo está rotando. Cuando las imágenes de la retina no giran, el modelo registra la discrepancia y gira él mismo en la dirección opuesta. Expresándolo en lenguaje subjetivo, el equipo lógico de realidad virtual se dice: «Sé que estoy girando por lo que los oídos me están diciendo; por lo tanto, para que el modelo permanezca quieto, será necesario introducir en éste la rotación en sentido contrario, en relación a los datos que los ojos están enviando». Pero las retinas no informan realmente de ningún giro, de modo que lo que parece que vemos es el giro compensador del modelo que hay en la cabeza. En términos de Barlow, es lo inesperado, es «noticia», y ésta es la razón por la que lo vemos.

Las aves tienen un problema adicional del que los seres humanos normalmente están libres. Un ave posada en la rama de un árbol está

siendo zarandeada continuamente arriba y abajo, a uno y otro lado, y sus imágenes retinianas se balancean del mismo modo. Es como vivir en un terremoto permanente. Las aves mantienen firme su cabeza, y con ella su visión del mundo, mediante el uso diligente de los músculos del cuello. Si uno filma a un pájaro en una rama azotada por el viento, casi se puede imaginar que la cabeza está clavada al fondo, mientras que los músculos del cuello utilizan la cabeza como fulcro para mover el resto del cuerpo. Cuando un ave camina, emplea el mismo truco para mantener firme el mundo que percibe. Ésta es la razón por la que, cuando caminan, las gallinas mueven bruscamente la cabeza hacia delante y hacia atrás de una manera que puede parecer bastante cómica. En realidad, es bastante ingeniosa. Cuando el cuerpo se mueve hacia delante, el cuello tira de la cabeza hacia atrás de una manera controlada, para que las imágenes retinianas permanezcan fijas. Después la cabeza sale disparada hacia delante para permitir que el ciclo se repita. No puedo evitar pensar en la posibilidad de que, como una consecuencia desagradable de esta manera que tienen las aves de hacer las cosas, un ave sea incapaz de ver un terremoto real porque sus músculos del cuello lo compensarían automáticamente. Ya más en serio, podríamos decir que el ave está utilizando sus músculos del cuello en un ejercicio al estilo de Barlow: mantener constante la parte no noticable del mundo, de manera que destaque el movimiento genuino.

Los insectos y muchos otros animales parecen tener un hábito parecido de actuar para mantener constante su mundo visual. Los investigadores lo han demostrado en un llamado «aparato optomotor», en el que un insecto es colocado sobre una mesa, rodeado por un cilindro vacío cuyo interior está pintado con bandas verticales. Si se hace girar el cilindro, el insecto utilizará sus patas para dar vueltas, manteniéndose en la misma posición con respecto al cilindro. Está actuando para mantener su mundo visual constante.

Normalmente, un insecto debe decirle a su programa de simulación que espere movimiento cuando anda, pues de otro modo empezaría por compensar sus propios movimientos y entonces, ¿dónde estaría? Esta idea hizo que dos ingeniosos investigadores alemanes, Erich von Holst y Horst Mittelstaedt, prepararan un experimento diabólicamente astuto. Si el lector ha visto alguna vez la manera en que una mosca se lava la cara con las manos, sabrá que las moscas son capaces de girar

completamente la cabeza, invirtiendo su posición. Von Holst y Mittelstaedt consiguieron fijar la cabeza de una mosca en posición invertida con pegamento. El lector habrá adivinado ya la consecuencia. Normalmente, cada vez que una mosca hace girar su cuerpo, el modelo en su cerebro es informado de que espere un movimiento equivalente del mundo visual. Pero tan pronto como dio un paso, la desdichada mosca con la cabeza al revés recibió datos que sugerían que el mundo se había desplazado en la dirección opuesta a la esperada. Por lo tanto movió sus patas en la misma dirección con el fin de compensar. Esto hizo que la posición aparente del mundo cambiara todavía más. La mosca acabó girando sobre sí misma como una peonza, a una velocidad creciente... bueno, dentro de límites prácticos evidentes.

El mismo Erich von Holst señaló asimismo que es esperable una confusión similar si nuestras propias instrucciones voluntarias para mover los ojos se ven neutralizadas, por ejemplo narcotizando los músculos motores de los ojos. Normalmente, si uno da a los ojos la orden de moverse hacia la derecha, las imágenes retinianas indicarán un movimiento hacia la izquierda. Para compensar y crear la apariencia de estabilidad, el modelo en la cabeza tiene que moverse hacia la derecha. Pero si los músculos motores de los ojos están narcotizados, el modelo se moverá hacia la derecha en anticipación de lo que resulta ser un movimiento retiniano no existente. Dejemos que sea el propio Von Holst quien termine el relato, en su artículo «La fisiología del comportamiento de los animales y el hombre» (1973):

¡Y esto es precisamente lo que ocurre! Se ha sabido desde hace muchos años a partir de personas con los músculos oculares paralizados, y se ha establecido de manera exacta a partir de los experimentos de Kommuller sobre sí mismo, que cada movimiento del ojo que se intenta pero que no se cumple resulta en la percepción de un movimiento cuantitativo del entorno en la misma dirección.

Estamos tan acostumbrados a vivir en nuestro mundo simulado, y éste se mantiene de manera tan magnífica en sincronía con el mundo real, que no nos damos cuenta de que es un mundo simulado. Hacen falta experimentos ingeniosos, como los de Von Holst y sus colegas, para convencernos.

Ello tiene su lado oscuro. Un cerebro que es bueno a la hora de simular modelos en la imaginación corre también, de manera casi inevitable, el peligro de autoengañarse. ¿Cuántos de nosotros, siendo niños, hemos permanecido en la cama, aterrorizados porque pensábamos haber visto un fantasma o una cara monstruosa que nos miraba desde la ventana del dormitorio, para descubrir después que sólo era una jugarreta que nos había hecho la luz? Ya he comentado con qué vehemencia el programa de simulación de nuestro cerebro construye una cara maciza allí donde en realidad hay una cara hueca. Con la misma facilidad produce una cara fantasmagórica a partir de lo que realmente es una colección de pliegues iluminados por la luna en una cortina de tul blanco.

Cada noche de nuestra vida soñamos. Nuestro programa de simulación pone en marcha mundos que no existen; personas, animales y lugares que nunca existieron, que quizá nunca existirán. En el momento de experimentarlas, estas simulaciones son percibidas por nosotros como si fueran realidad. ¿Por qué no habríamos de percibir las así, dado que habitualmente experimentamos la realidad de la misma manera, como modelos de simulación? El programa de simulación también puede engañarnos cuando estamos despiertos. Las ilusiones como la cara vacía son inofensivas en sí mismas, y comprendemos como funcionan. Pero nuestro programa de simulación puede asimismo, si estamos drogados, o con fiebre, o hemos ayunado, producir alucinaciones. A lo largo de la historia, las personas han tenido visiones de ángeles, santos y dioses; y les han parecido muy reales. Bueno, desde luego, *tenían* que parecer reales. Son modelos, que el programa de simulación normal ha ensamblado. El programa de simulación utiliza las mismas técnicas de modelado que usa normalmente cuando presenta su edición continuamente puesta al día de la realidad. No es extraño que estas visiones hayan tenido tanta influencia. No es extraño que hayan cambiado la vida de la gente. De modo que si alguna vez oímos una historia acerca de que alguien ha tenido una visión, ha sido visitado por un arcángel, o bien ha oído voces en la cabeza, hemos de tener de inmediato sospechas de tomarlo al pie de la letra. Recuérdese que nuestra cabeza contiene un programa potente y ultrarrealista de simulación. Nuestro programa de simulación podría invocar en un dos por tres y de forma completa a un fantasma, un dragón o una virgen santa. Sería un juego de niños para un programa tan sofisticado.

Una palabra de aviso. La metáfora de la realidad virtual es seductora y, en muchos aspectos, adecuada. Pero existe el peligro de que nos haga pensar, erróneamente, que existe un «hombrecillo» u «homúnculo» en el cerebro, contemplando el espectáculo de realidad virtual. Tal como han señalado filósofos como Daniel Dennett, uno no ha explicado nada precisamente si se sugiere que el ojo está conectado al cerebro de tal manera que una pequeña pantalla de cine, en algún lugar del cerebro, retransmite todo lo que se proyecta sobre la retina. ¿Quién mira la pantalla? La cuestión así planteada no es menor que la pregunta original a la que uno piensa haber dado respuesta. Se podría hacer que el hombrecillo mirara directamente a la retina, lo que claramente no es una solución de nada. El mismo problema surge si tomamos literalmente la metáfora de la realidad virtual e imaginamos que algún agente situado dentro de la cabeza está «experimentando» la demostración de realidad virtual.

Los problemas que plantea la conciencia subjetiva son quizá los más desconcertantes de toda la filosofía, y resolverlos se aparta muchísimo de mi ambición. Mi sugerencia, más modesta, es que cada especie, en cada situación, necesita desplegar su información sobre el mundo de la manera que le sea más útil para emprender la acción. «Construir un modelo en la cabeza» es una manera útil de expresar de qué manera se hace esto, y compararla con la realidad virtual es especialmente útil en el caso de los seres humanos. Como he argumentado anteriormente, es probable que el modelo del mundo que utiliza un murciélago sea similar al modelo utilizado por una golondrina, aunque uno esté conectado al mundo real a través del oído y el otro a través de la vista. El cerebro construye su mundo modelo de la manera más adecuada para la acción. Puesto que las acciones de las golondrinas que vuelan de día y de los murciélagos que vuelan de noche son similares (navegar a gran velocidad en tres dimensiones, evitar obstáculos sólidos y capturar insectos al vuelo) es probable que utilicen los mismos modelos. No postulo «un pequeño murciélago en la cabeza» o «una pequeña golondrina en la cabeza» que observe el modelo. De algún modo, el modelo es utilizado para controlar los músculos del vuelo, y no iré más allá de esto.

No obstante, cada uno de nosotros, seres humanos, sabe que la ilusión de un agente único situado en algún lugar en medio del cerebro es

muy potente. Sospecho que el caso puede ser paralelo al modelo de los «cooperadores egoístas», de los genes que aparecen juntos, aunque son agentes fundamentalmente independientes, para crear la ilusión de un cuerpo unitario. Volveré brevemente a esta idea hacia el final del próximo capítulo.

Este capítulo ha desarrollado la tesis de que el cerebro se ha apoderado de parte del papel de registrar el ambiente que tiene el ADN; de los ambientes, más bien, porque son muchos y se extienden en el pasado reciente y el distante. Poseer un registro del pasado es útil sólo en la medida en que ayude a predecir el futuro. El cuerpo del animal representa un tipo de predicción de que el futuro se parecerá al pasado ancestral, a grandes rasgos. Es probable que el animal sobreviva en la medida en que esto resulte ser cierto; y los modelos de simulación del mundo permiten que el animal actúe como anticipándose a lo que es probable que el mundo arroje en su camino en los segundos, horas o días inmediatos. Para completar el cuadro debemos señalar que el propio cerebro, y su programa de realidad virtual, son en último término producto de la selección natural de genes ancestrales. Podemos decir que los genes pueden predecir sólo hasta cierto punto, porque el futuro se parecerá al pasado sólo de manera general. Para los detalles y las sutilezas, dotan al animal de una circuitería nerviosa y un programa de realidad virtual que constantemente pondrán al día y revisarán sus predicciones para adaptarse a cambios rápidos en las circunstancias. Es como si los genes dijeran: «Podemos modelar la forma básica del ambiente, las cosas que no cambian a lo largo de las generaciones. Pero para los cambios rápidos, te toca a ti, cerebro».

Nos desplazamos por un mundo virtual que ha producido nuestro propio cerebro. Nuestros modelos artificiales de rocas y árboles son parte del ambiente en que vivimos nosotros, animales, no menos que las rocas y los árboles reales que representan. Y, cosa intrigante, nuestros mundos virtuales deben verse asimismo como parte del ambiente en el que nuestros genes son seleccionados naturalmente. Hemos representado los genes de camello como habitantes de mundos ancestrales, seleccionados para sobrevivir en antiguos desiertos y mares todavía más antiguos, seleccionados para sobrevivir en camaradería con colectivos compatibles de otros genes de camello. Todo esto es cierto, y de nuestros genes podrían contarse relatos equivalentes de árboles

miocénicos y sabanas pliocénicas. Lo que ahora debemos añadir es que, entre los mundos en los que los genes han sobrevivido, hay mundos virtuales fabricados en el interior de cerebros ancestrales.

En el caso de animales muy sociales como nosotros mismos y nuestros antepasados, nuestros mundos virtuales son, al menos en parte, construcciones de grupo. Especialmente desde la invención del lenguaje y el auge de los artefactos y la tecnología, nuestros genes han tenido que sobrevivir en mundos complejos y cambiantes para los que la descripción más económica que podemos encontrar es la de realidad virtual compartida. Resulta una idea sorprendente el que, del mismo modo que se puede decir que los genes sobreviven en desiertos o selvas, e igual que se puede decir que sobreviven en compañía de otros genes en el acervo genético, también puede decirse que sobreviven en los mundos virtuales, incluso poéticos, creados por el cerebro. En el capítulo final nos dedicaremos al enigma del cerebro humano.

12 El globo de la mente

El cerebro es una masa de un kilo y cuarto que uno puede sostener en una mano y que puede concebir un universo de cien mil millones de años luz de diámetro.

Manan C. Diamond

Es un lugar común entre los historiadores de la ciencia que los biólogos de cualquier época se esfuercen por comprender los mecanismos de los cuerpos vivos haciendo comparaciones con la tecnología avanzada del momento. Desde los relojes en el siglo xvii hasta las estatuas danzantes en el xviii, desde las máquinas térmicas victorianas hasta los misiles actuales, que buscan el calor y son guiados electrónicamente, las novedades de la ingeniería en cada tiempo han refrescado la imaginación biológica. Si, de todas estas innovaciones, el ordenador digital promete eclipsar a sus predecesores, la razón es sencilla. El ordenador no es únicamente una máquina. Puede ser reprogramado con celeridad para convertirse en cualquier máquina que uno quiera: calculadora, procesador de textos, clasificador, maestro de ajedrez, instrumento musical, máquina de adivinar su peso y hasta, lamentablemente, adivino astrológico. Puede simular el tiempo meteorológico, los ciclos de población de los lemmings, un hormiguero, el acoplamiento de un satélite o la ciudad de Vancouver.

Se ha descrito el cerebro de un animal como su ordenador de a bordo. Pero el cerebro no funciona de la misma manera que un ordenador electrónico. Está hecho a partir de componentes muy distintos. Individualmente, éstos son mucho más lentos, pero funcionan en enormes redes paralelas, de modo que, de alguna manera que todavía se comprende sólo en parte, su número compensa su velocidad menor, y el cerebro puede, en algunos aspectos, desenvolverse mejor que los ordenadores digitales. En cualquier caso, las diferencias de funciona-

miento detallado no restan poder a la metáfora. El cerebro es el ordenador de a bordo del cuerpo, no por la manera como funciona, sino por lo que hace en la vida del animal. La semejanza en el papel se extiende a muchas partes de la economía del animal pero, lo que quizá resulte más espectacular de todo, el cerebro simula el mundo con el equivalente de un programa de realidad virtual.

Podría parecer una buena idea, en términos generales, que cualquier animal desarrollara un cerebro grande. ¿No es probable que un mayor poder de computación sea una ventaja? Quizá, pero también tiene sus costos. A igualdad de peso, el tejido cerebral consume más energía que los demás tejidos; y nuestro gran cerebro cuando somos bebés hace que nacer sea algo relativamente difícil. Nuestra presunción de que un cerebro grande debe ser una cosa buena proviene en parte de la vanidad de la hipertrofia cerebral de nuestra propia especie. Pero sigue siendo una cuestión interesante averiguar por qué el cerebro humano se ha desarrollado hasta su tamaño especialmente grande.

Una autoridad ha dicho que la evolución del cerebro humano a lo largo del último millón de años «quizá sea el avance más rápido registrado para cualquier órgano complejo en toda la historia de la vida». Puede que esto sea una exageración, pero es innegable que la evolución del cerebro humano es celer. Comparado con los cráneos de los demás simios, el cráneo del hombre moderno, al menos la parte bulbosa que aloja el cerebro, se ha hinchado como un globo. Cuando nos preguntamos por qué ocurrió esto, no es satisfactorio aducir razones generales de por qué poseer un cerebro grande podría ser útil. Presumiblemente tales beneficios generales serían aplicables a muchas especies de animales, especialmente aquellas que navegan rápidamente a través del complicado mundo tridimensional de la bóveda selvática, como hace la mayoría de primates. Una explicación satisfactoria sería la que nos dijera por qué un linaje determinado de simios (en realidad, uno que había abandonado los árboles) cambió de repente de rumbo, dejando estancado al resto de primates.

Hubo un tiempo en que estaba de moda lamentarse (o, según los gustos, regocijarse) por la escasez de fósiles que conectaban a *Homo sapiens* con nuestros antepasados simiescos. Esto ha cambiado. Ahora poseemos una serie fósil bastante buena y a medida que nos remontamos en el tiempo podemos reseguir una reducción gradual de la caja

craneana a través de las distintas especies de *Homo* hasta nuestro género predecesor *Australopithecus*, cuya caja craneana tenía aproximadamente el tamaño de la de un chimpancé moderno. La principal diferencia entre Lucy o *mistress* Pies (australopitecinas famosas) y un chimpancé no reside en absoluto en el cerebro, sino en el hábito de los australopitecinos de andar erguidos sobre dos piernas. Los chimpancés lo hacen sólo ocasionalmente. El hinchamiento del globo cerebral abarca tres millones de años desde *Australopithecus*, pasando por *Homo habilis*, *Homo erectus* y *Homo sapiens* arcaico, hasta el *Homo sapiens* moderno.

Algo ligeramente similar parece haber ocurrido en el crecimiento del ordenador. Pero, si el cerebro humano se ha hinchado como un globo, el progreso del ordenador ha sido más como el de una bomba atómica. La ley de Moore afirma que la capacidad de los ordenadores de un determinado tamaño físico se duplica cada 1,5 años. (Esta es una versión moderna de la ley. Cuando Moore la formuló originalmente hace más de tres décadas se refería al recuento de transistores que, según sus mediciones, se duplicaba cada dos años. El rendimiento de los ordenadores ha mejorado incluso más deprisa, porque los transistores se hicieron más rápidos, al tiempo que más pequeños y baratos.) El malogrado Christopher Evans, un psicólogo versado en ordenadores, planteó el asunto de manera teatral:

El automóvil actual difiere de aquellos de los años inmediatos de la postguerra en varios aspectos. Es más barato, teniendo en cuenta los estragos de la inflación, y es más económico y eficiente... Pero supóngase por un momento que la industria del automóvil se hubiera desarrollado al mismo ritmo que los ordenadores y a lo largo del mismo periodo: ¿cuánto más baratos y eficientes serían los modelos actuales? Si el lector no ha oído todavía la analogía, la respuesta es impresionante. Hoy podríamos comprar un Rolls-Royce por 1,35 libras esterlinas, rendiría 18 millones de kilómetros por litro de gasolina, y generaría suficiente potencia para impulsar el *Queen Elizabeth II*. Y si el lector está interesado en la miniaturización, podría colocar media docena de ellos en una cabeza de alfiler. *The Mighty Micro [El potente ordenador personal]* (1979)

Desde luego, las cosas ocurren inevitablemente de forma muchísimo más lenta a la escala temporal de la evolución biológica. Una razón es que cada mejora debe producirse a través de la muerte de unos individuos y la reproducción de otros individuos rivales. De modo que no pueden hacerse comparaciones de velocidad absoluta. Si comparamos el cerebro de *Australopithecus*, *Homo habilis*, *Homo erectus* y *Homo sapiens*, tenemos un equivalente aproximado de la ley de Moore, pero con una reducción de la velocidad de seis órdenes de magnitud. Desde Lucy a *Homo sapiens*, el tamaño del cerebro se ha duplicado aproximadamente cada 1,5 millones de años. A diferencia de la ley de Moore para los ordenadores, no existe ninguna razón particular para pensar que el cerebro humano seguirá hinchándose. Para que esto ocurriera, los individuos de cerebro grande deberían tener más descendientes que los de cerebro pequeño. No es evidente que tal cosa esté ocurriendo en la actualidad. Tuvo que haber ocurrido durante nuestro pasado ancestral, de otro modo nuestro cerebro no habría crecido como lo hizo. Incidentalmente, también debió suceder que el tamaño del cerebro en nuestros antepasados estaba bajo control genético. De no ser así, la selección natural no hubiera tenido nada sobre lo que trabajar, y el crecimiento evolutivo del cerebro no se hubiera producido. Por alguna razón, muchas personas consideran que es una grave ofensa política sugerir que algunos individuos son genéticamente más listos que otros. Pero tal debió ser el caso cuando nuestro cerebro estaba evolucionando, y no hay razón para esperar que los hechos cambien de repente para acomodar las sensibilidades políticas.

Hay un gran número de influencias que han contribuido al desarrollo de los ordenadores pero que no nos van a ayudar a comprender el cerebro. Un paso importante fue el cambio desde la válvula (tubo de vacío) hasta el transistor, mucho más pequeño, y después la miniaturización espectacular y continuada del transistor en circuitos integrados. Todos estos avances son irrelevantes para el cerebro, porque (vale la pena repetir este punto) de todos modos el cerebro no funciona electrónicamente. Pero hay otra fuente de avance de los ordenadores, y ésta pudiera ser relevante para el cerebro. La llamaré *coevolución de autoalimentación*.

Ya hemos hablado de la coevolución. Significa la evolución conjunta de diferentes organismos (como en la carrera armamentista entre

depredadores y presas), o entre partes diferentes del mismo organismo (el caso especial denominado coadaptación). Como ejemplo adicional, existen unas moscas cuyo aspecto imita el de una araña saltadora, incluyendo grandes ojos falsos que miran directamente hacia delante como un par de faros, muy distintos de los ojos compuestos verdaderos. Las arañas reales son depredadores potenciales de moscas de este tamaño, pero son disuadidas por el parecido de las moscas con otra araña. Las moscas aumentan el mimetismo agitando las patas delanteras de forma parecida a las histriónicas señales que las arañas saltadoras utilizan cuando cortejan a su propio sexo opuesto. En la mosca, los genes que controlan el parecido anatómico con las arañas han tenido que evolucionar junto a los genes separados que controlan el comportamiento semafórico. Esta evolución conjunta es la coadaptación.

Autoalimentación es el nombre que doy a cualquier proceso en el que «cuánto más tienes, más obtienes».¹ Una bomba es un buen ejemplo. Se dice que la bomba atómica depende de una reacción en cadena, pero la metáfora de una cadena es demasiado solemne para transmitir lo que sucede. Cuando el núcleo inestable del uranio 235 se desintegra, se libera energía. Los neutrones que salen disparados de la desintegración de un núcleo pueden impactar sobre otro e inducir su desintegración, pero por lo general éste es el fin de la historia. La mayoría de los neutrones no impactan en otros núcleos y salen disparados de manera inocua hacia el espacio vacío, pues el uranio, aunque sea uno de los metales más densos, es «realmente» como toda la materia, principalmente espacio vacío. (El modelo virtual del metal en nuestro cerebro está construido con la ilusión persuasiva de densa solidez porque ésta es la representación interna más útil de un sólido para nuestros fines de supervivencia.) A su propia escala, los núcleos atómicos de un metal están mucho más espaciados que los mosquitos de un enjambre, y una partícula expulsada por un átomo que se descompone tiene más posibilidades de salir del enjambre sin obstáculos. Sin embargo, si se acumula una cantidad (la famosa «masa crítica») de uranio 235 suficiente

1. Se trata del principio de San Marcos o de San Mateo, bien conocido en ecología: «Porque al que tiene, se le dará más y abundará; y al que no tiene, aun aquello que tiene le será quitado» (Mateo, 13:12). (*N. del T.*)

para que un neutrón típico, expulsado de cualquier núcleo, tenga posibilidades de impactar con cualquier otro núcleo antes de abandonar completamente la masa de metal, se pone en marcha la denominada reacción en cadena. Por término medio, cada núcleo que se escinde hace que otro se parta también, hay una epidemia de divisiones atómicas, con una liberación rapidísima de calor y otras energías destructivas, y los resultados son bien conocidos. Todas las explosiones poseen esta misma cualidad epidémica y, a una escala de tiempo más lenta, las epidemias propiamente dichas se parecen a veces a explosiones. Requieren una masa crítica de víctimas susceptibles para iniciarse y, una vez han comenzado, cuánto más tienes, más obtienes. Ésta es la razón por la que es tan importante vacunar una proporción crítica de la población. Si quedan sin vacunar menos personas que la «masa crítica», la epidemia no puede iniciarse. (Ésta es también la razón por la que es posible que egoístas que se saltan las normas eviten ser vacunados y aún así se beneficien del hecho de que la mayoría de las demás personas lo han sido.)

En *El relojero ciego* señalé que existe un principio de «masa crítica explosiva» que actúa en la cultura popular humana. Muchas personas deciden comprar discos, libros o ropa sin otra razón mejor que el hecho de que muchas otras personas los compran. Cuando se publica una lista de supervenías, ello puede considerarse un informe objetivo del comportamiento de compra. Pero es más que eso, porque la lista publicada realimenta el comportamiento de compra de las personas e influye en las cifras de venta futuras. Por lo tanto, las listas de supervenías son, al menos en potencia, víctimas de espirales de autoalimentación. Ésta es la razón por la que los editores se gastan mucho dinero al principio de la carrera de un libro, en un arduo intento de hacerlo pasar por el umbral de la masa crítica de la lista de supervenías. La esperanza es que entonces «despegará». Cuanto más tienes, más obtienes, con la característica adicional del despegue súbito, que necesitamos por mor de la analogía. Un ejemplo teatral de una espiral de autoalimentación que fue en la dirección opuesta es la histórica quiebra de Wall Street y otros casos en los que la venta de acciones debida al pánico en el mercado de valores se alimenta a sí misma en un descenso en barrena.

La coadaptación evolutiva no tiene necesariamente la propiedad explosiva adicional de alimentarse automáticamente. No hay ninguna

razón para suponer que, en la evolución de nuestra mosca imitadora de arañas, la coadaptación de la forma de la araña y del comportamiento de la araña fue explosiva. Para que así fuera, sería necesario que el parecido inicial, pongamos una ligera semejanza anatómica a una araña, estableciera una presión *aumentada* para imitar el comportamiento de la araña. Esto, a su vez, alimentó una presión *todavía mayor* para imitar la forma de la araña, y así sucesivamente. Pero, como digo, no hay razón para pensar que ocurrió de esta manera; no hay razón para suponer que la presión se alimentó a sí misma y, por tanto, aumentó a medida que iba y venía. Como expliqué en *El relojero ciego*, es posible que la evolución de la cola de las aves del paraíso, el abanico del pavo real y otros ornamentos extravagantes por selección sexual sea genuinamente explosiva y de autoalimentación. Puede que aquí sea realmente de aplicación el principio de «cuanto más tienes, más obtienes».

En el caso de la evolución del cerebro humano, sospecho que estamos buscando algo explosivo, de autoalimentación, como la reacción en cadena de la bomba atómica o la evolución de la cola de un ave del paraíso, más que como la mosca que imita a la araña. El atractivo de esta idea es su capacidad para explicar por qué, entre un conjunto de especies de simios africanos con el cerebro del tamaño del de un chimpancé, una de ellas se adelantó de repente a las demás por ninguna razón evidente. Es como si un acontecimiento aleatorio hubiera dado un empujoncito al cerebro de los homínidos para rebasar un umbral, algo equivalente a una «masa crítica», y después el proceso despegó explosivamente porque se alimentaba automáticamente.

¿En qué pudo haber consistido este proceso de autoalimentación? La conjetura que ofrecí en mi Conferencia de Navidad de la Institución Real fue «Coevolución *software/hardware*». Como sugiere su nombre, puede explicarse mediante una analogía informática. Lamentablemente para la analogía, la ley de Moore no parece explicarse por ningún proceso sencillo de autoalimentación. La mejora de los circuitos integrados a lo largo de los años parece haberse producido por un conjunto desordenado de cambios, que es lo que hace intrigante que la mejora sea aparentemente exponencial y uniforme. No obstante, seguramente existe una coevolución de programa/circuitería que impulsa la historia de los avances informáticos. En concreto, hay algo que corresponde a atravesar un umbral después de que se ha sentido una «necesidad» reprimida.

En los primeros tiempos de los ordenadores personales, éstos ofrecían únicamente un programa primitivo de procesamiento de textos; el mío ni siquiera saltaba automáticamente de línea al terminar ésta. Por entonces yo era un adicto de la programación informática y (me avergüenza un poco admitirlo) llegué al extremo de escribir mi propio programa de procesamiento de textos, llamado «Scrivener», que utilicé para escribir *El relojero ciego* (¡y que, de otra forma, se habría terminado antes!). Durante el desarrollo de Scrivener me sentía cada vez más frustrado con la idea de utilizar el teclado para mover el cursor por la pantalla. Yo sólo quería *señalar*. Di vueltas a la idea de utilizar una palanca de mando o *Joystick* como las que se suministran con los juegos de ordenador, pero no conseguía descubrir cómo hacerlo. Sentía de manera abrumadora que el programa que deseaba escribir se topaba con el impedimento de la carencia de un descubrimiento crítico en la circuitería; Más tarde descubrí que el dispositivo que yo necesitaba desesperadamente, pero que no fui lo bastante listo para imaginar, había sido inventado mucho antes. Este dispositivo era, naturalmente, el ratón.

El ratón fue un avance en el equipo físico, concebido en la década de 1960 por Douglas Engelbart, que previó que haría posible un nuevo tipo de programas. Esta innovación en la programación la conocemos ahora, en su forma avanzada, como Interfaz Gráfico de Usuario, o GUI, y fue desarrollada en los años setenta por el equipo brillante y creativo de Xerox PARC, esa Atenas del mundo moderno. Fue comercializado con éxito por Apple en 1983, y después copiado por otras compañías bajo nombres tales como VisiOn, GEM y (la que hoy en día tiene más éxito comercial) Windows. El quid de la cuestión es que una explosión de programación ingeniosa se vio, en cierto sentido, contenida, a la espera de irrumpir en el mundo, pero tuvo que esperar a que apareciera una pieza crucial de circuitería, el ratón. Con posterioridad, la expansión del programa GUI planteó nuevas exigencias al equipo físico, que tuvo que hacerse más rápido y más espacioso para habérselas con las necesidades de los gráficos. Ello, a su vez, permitió una afluencia de programas nuevos y más refinados, especialmente programas capaces de explotar los gráficos de alta velocidad. La espiral programación/circuitería continuó y su última producción es la red mundial. ¿Quién sabe qué generarán las futuras vueltas de la espiral?

Y luego, si se mira hacia el futuro, resulta que la potencia [de los ordenadores] va a ser utilizada para muchas cosas. Mejoras incrementales y facilidad de utilizar cosas, y después ocasionalmente uno sobrepasa un umbral y algo nuevo es posible. Esto fue así con la interfaz gráfica de usuario. Todas las salidas y todos los programas se hicieron gráficos, lo que nos costó grandes cantidades de potencia de CPU y valió la pena... En realidad, tengo mi propia ley de programación, la Ley de Nathan, que dice que la programación crece más rápido que la Ley de Moore. Y ésta es la razón por la que hay una Ley de Moore.

Nathan Myhrvold, jefe de Tecnología, Microsoft Corporation (1998)

Volviendo a la evolución del cerebro humano, ¿qué estamos buscando para completar la analogía? ¿Una pequeña mejora en la circuitería, quizás un ligero aumento en el tamaño del cerebro, que hubiera pasado inadvertido si no hubiera permitido una nueva técnica de programación que, a su vez, desencadenó una espiral floreciente de coevolución? El nuevo programa cambió el entorno en el cual la circuitería del cerebro estaba sujeta a la selección natural. Ello dio lugar a una fuerte presión darwiniana para mejorar y ampliar la circuitería, sacar partido del nuevo programa, y una espiral de autoalimentación se puso en marcha, con resultados explosivos.

En el caso del cerebro humano, ¿cuál pudo ser el avance floreciente en el programa? ¿Qué fue el equivalente del GUI? Daré el ejemplo más claro que puedo aportar del *tipo* de cosa que pudo haber sido, sin ni por un momento comprometerme con la idea de que fue ésta la que inauguró realmente la espiral. Mi ejemplo claro es el lenguaje. Nadie sabe cómo empezó. No parece que exista nada parecido a la sintaxis en los animales no humanos, y es difícil imaginar precursores evolutivos de la misma. Igualmente oscuro es el origen de la semántica, de las palabras y su significado. Sonidos que significan cosas tales como «dame de comer» o «vete» son comunes en el reino animal, pero los seres humanos hacemos algo muy distinto. Como otras especies, poseemos un repertorio limitado de sonidos básicos, los fonemas, pero somos únicos a la hora de recombinar dichos sonidos, hilvanándolos en un número indefinidamente grande de combinaciones para que signifi-

quien cosas que son fijadas sólo mediante convención arbitraria. El lenguaje humano es abierto en su semántica: los fonemas pueden recombinarse para confeccionar un diccionario de palabras que se expande de manera indefinida. Y es abierto asimismo en su sintaxis: las palabras pueden recombinarse en un número indefinidamente grande de sentencias mediante incrustación recursiva: «El hombre viene para acá. El hombre que capturó al leopardo viene para acá. El nombre que capturó al leopardo que mató las cabras viene para acá. El hombre que capturó al leopardo que mató las cabras que nos dan leche viene para acá». Adviértase cómo la frase crece en el medio, mientras que los extremos (sus partes fundamentales) permanecen iguales. Cada una de las cláusulas subordinadas incrustadas puede crecer de la misma manera, y no existe límite al crecimiento permisible. Este tipo de ampliación potencialmente infinita, que se hace posible de pronto por una única innovación sintáctica, parece ser exclusiva del lenguaje humano.

Nadie sabe si el lenguaje de nuestros antepasados pasó por un estadio prototípico con un vocabulario pequeño y una gramática simple antes de evolucionar gradualmente hasta el punto presente en el que todos los miles de lenguajes del mundo son muy complejos (se dice que todos son exactamente *igual* de complejos, pero esto suena demasiado perfecto desde el punto de vista ideológico para ser enteramente plausible). Me inclino por pensar que fue gradual, pero no es totalmente evidente que tuviera que serlo. Hay quien piensa que surgió de repente, más o menos literalmente inventado por un único genio en un lugar determinado y en un momento determinado. Ya fuera gradual o repentino, podría explicarse una historia similar de coevolución de programa/circuitería. Un mundo social en el que existe el lenguaje es un mundo social completamente distinto de uno en el que no existe. Las presiones selectivas sobre los genes ya no serán nunca las mismas. Los genes se encuentran en un mundo que es más espectacularmente distinto que si una glaciación hubiera golpeado de repente o si algún depredador terrible y nuevo hubiera llegado de pronto a aquella tierra. En el nuevo mundo social en el que el lenguaje apareció por primera vez en escena tuvo que haber una selección natural espectacular en favor de los individuos genéticamente equipados para explotar las nuevas condiciones. Esto me recuerda la conclusión del capítulo anterior, en el que hablé de que los genes se seleccionan para sobrevivir en

mundos virtuales contruidos socialmente por el cerebro. Es casi imposible sobreestimar las ventajas de que pudieron haber gozado los individuos capaces de sobresalir a la hora de sacar partido del nuevo mundo lingüístico. No es sólo que el cerebro se hiciera más grande para habérselas con la gestión del propio lenguaje. Es también que el mundo entero en el que vivían nuestros antepasados se transformó como consecuencia de la invención del habla.

Pero he utilizado el ejemplo del lenguaje únicamente para hacer plausible la idea de la coevolución programa/circuitería. Pudo no haber sido el lenguaje lo que hizo saltar al cerebro humano por encima de su umbral crítico para la inflación, aunque tengo el presentimiento de que desempeñó un papel importante. Resulta controvertido que la circuitería moduladora del sonido en la garganta fuera capaz de lenguaje por la época en la que el cerebro comenzó a expandirse. Existen algunos indicios fósiles que sugieren que nuestros probables antepasados *Homo habilis* y *Homo erectus*, debido a su laringe apenas descendida, probablemente no eran capaces de articular la gama completa de sonidos vocálicos que la garganta moderna pone a nuestra disposición. Algunas personas creen que esto indica que el propio lenguaje llegó tarde en nuestra evolución. Pienso que ésta es una conclusión poco imaginativa. Si hubo coevolución programa/circuitería, el cerebro no es el único equipo físico que cabe esperar que hubiera mejorado en la espiral. El aparato vocal habría evolucionado en paralelo, y el descenso evolutivo de la laringe es uno de los cambios de equipo físico que el propio lenguaje habría impulsado. Pobreza de vocales no es lo mismo que ninguna vocal en absoluto. Incluso si el habla de *Homo erectus* hubiera parecido monótona para nuestras pautas exigentes, todavía pudo haber servido de escenario para la evolución de la sintaxis, la semántica y el descenso autoalimentario de la misma laringe. Dicho sea de paso, es concebible que *Homo erectus* construyera barcas además de usar el fuego; no debíamos subestimarlos.

Dejando un momento de lado el lenguaje, ¿qué otras innovaciones de programación podrían haber hecho pasar a nuestros antepasados por encima del umbral crítico e iniciado la escalada coevolutiva? Permítaseme sugerir dos que podrían haber surgido de forma natural a partir de la evolución de la afición de nuestros antepasados por la carne y la caza. La agricultura es un invento reciente. La mayoría de nuestros an-

tepasados homínidos fueron cazadores recolectores. Los que subsisten todavía a base de este antiguo modo de vida suelen ser rastreadores formidables. Pueden leer patrones de huellas, vegetación perturbada, excrementos depositados y restos de pelo para construir una imagen detallada de acontecimientos sobre un área grande. Un patrón de huellas de pisadas es un gráfico, un mapa, una representación simbólica de una serie de incidentes en el comportamiento animal. ¿Recuerda el lector a nuestro hipotético zoólogo, cuya capacidad de reconstruir ambientes del pasado mediante la lectura del cuerpo y el ADN de un animal justificaba la afirmación de que un animal es un modelo de su ambiente? ¿Acaso no podríamos decir algo parecido de un experto rastreador !Kung San, que sólo tiene que leer las huellas de pisadas en el suelo del Kalahari para reconstruir una pauta, una descripción o modelo detallados del comportamiento de un animal en el pasado reciente? Adecuadamente leídas, estas pistas suponen mapas e imágenes, y me parece plausible que la capacidad de leer dichos mapas e imágenes pudiera haber surgido en nuestros antepasados antes del origen del habla.

Supóngase que una cuadrilla de cazadores *Homo habilis* necesita planear una cacería cooperativa. En un notable y estremecedor filme de 1992 para la televisión, *Too Close for Comfort [Demasiado cercanos para estar cómodos]*, David Attenborough presenta a chimpancés actuales ejecutando lo que parece ser una actividad cuidadosamente planeada y terminada con éxito de empujar y emboscar a un colobo, mono que después despedazan y devoran. No hay ninguna razón para pensar que los chimpancés se comunicaron unos a otros ningún plan detallado antes de empezar la caza, pero hay todas las razones para pensar que *Homo habilis* pudo haberse beneficiado de tal comunicación si es que se había conseguido. ¿Cómo pudo haberse desarrollado tal comunicación?

Supóngase que uno de los cazadores, al que podemos considerar un cabecilla, tiene un plan para emboscar a un alce africano o elán, y desea transmitir el plan a sus colegas. Sin duda puede imitar el comportamiento del alce africano, quizá cubriéndose con una piel para tal fin, como los pueblos cazadores hacen hoy con fines rituales o festivos; y puede imitar las acciones que quiere que sus cazadores realicen: estudiada exageración de los movimientos furtivos en el acercamiento

cauteloso a la presa, conducción ruidosa y conspicua, alarma súbita en la emboscada final. Pero puede hacer más cosas, y en esto se parecería a cualquier oficial del ejército. Puede señalar objetivos y planear maniobras sobre un *mapa* de la zona.

Nuestros cazadores, podemos suponer, son todos rastreadores expertos, con una intuición para disponer, en el espacio bidimensional, las huellas de pisadas y otros rastros: una pericia que puede haber ido más allá de lo que nosotros (a menos que nosotros mismos seamos cazadores !Kung San) podemos imaginar fácilmente. Están completamente acostumbrados a la idea de seguir una pista, y de imaginarla dispuesta sobre el terreno como si de un mapa de tamaño natural y de un gráfico temporal de los movimientos de un animal se tratara. ¿Qué sería más natural para el cabecilla del grupo que coger un palo y dibujar sobre el polvo un modelo a escala de esta imagen temporal: un mapa de un movimiento sobre una superficie? El cabecilla y sus cazadores están completamente acostumbrados a la idea de que una serie de huellas de pezuñas indica el flujo de néves a lo largo de la orilla fangosa de un río. ¿Por qué no habría de dibujar una línea que indicara el flujo del propio río en un mapa a escala en el polvo? Acostumbrados como están a seguir las huellas humanas desde su propio hogar al río, ¿por qué razón el cabecilla no habría de señalar en su mapa la posición de la cueva en relación al río? Moviéndose alrededor del mapa con su palo, el cazador podría indicar la dirección de acercamiento por parte del alce africano, el ángulo de aproximación que propone, la localización de la emboscada; indicarlos literalmente mediante dibujos en la arena.

¿Podría algo como esto haber sido la manera en que nació la idea de una representación a escala reducida en dos dimensiones, como una generalización natural de la importante habilidad de leer huellas de pisadas de animales? Quizá la idea de dibujar el aspecto de los mismos animales surgió del mismo origen. Es evidente que la impresión en el fango de una pezuña de ñu es la imagen negativa del objeto real. La pisada fresca de un león debió de producir miedo. ¿Acaso engendró también, en un destello cegador, el darse cuenta de que se podía dibujar una representación de una parte de un animal, y de aquí, por extrapolación, el animal entero? Quizás el destello cegador que llevó al primer dibujo de un animal entero llegó a partir de la impresión de un cadáver completo, arrastrado del fango que se había endurecido a su alrededor.

O bien una imagen menos clara en la hierba pudo haber sido rellenada de carne por el propio programa de realidad virtual de la mente.

Porque la hierba de la montaña
No puede hacer otra cosa que conservar la forma
Allí donde la liebre de montaña se ha tendido.²

W.B. Yeats, «Memoria» (1919)

El arte representacional de todo tipo (y probablemente también el arte no representacional) depende de darse cuenta de que una determinada cosa puede hacerse pasar por alguna otra y que esto puede ayudar al pensamiento o a la comunicación. Las analogías y metáforas que subyacen a lo que he estado llamando ciencia poética (buena y mala) son otras manifestaciones de la misma facultad humana de producción de símbolos. Reconozcamos un continuo, que puede representar una serie evolutiva. En un extremo del continuo permitimos que las cosas representen otras cosas a las que se parecen, como en las pinturas rupestres de búfalos. En el otro extremo están los símbolos que no se parecen de manera evidente a las cosas que representan, como la palabra «búfalo», que significa lo que significa sólo debido a una convención arbitraria que todos los angloparlantes respetan.³ Los estadios intermedios a lo largo del continuo pueden representar, como dije, una evolución progresiva. Puede que nunca sepamos cómo empezó. Pero quizá mi relato de las huellas de pisadas representa el *tipo* de discernimiento que pudo verse implicado cuando la gente empezó a pensar por analogía, y a partir de aquí se dio cuenta de la posibilidad de representación semántica. Diera o no origen a la semántica, mi mapa del rastreador se une al lenguaje como mi segunda sugerencia para una innovación del programa que pudo haber desencadenado la espiral coevolutiva que impulsó la expansión de nuestro cerebro. ¿Pudo haber sido el dibujo de mapas lo que lanzó a nuestros antepasados más allá del umbral crítico que los demás simios no consiguieron cruzar?

2. *Because the mountain grass / Cannot but keep the form / Where the mountain hare has lain.*

3. No exactamente, puesto que para los norteamericanos «búfalo» no representa el un -gulado africano (*Syncerus caffer*), sino el bisonte americano (*Bison bison*). El comentario del autor es, evidentemente, irónico. (*N. del T.*)

Mi tercera innovación posible del programa se inspira en una sugerencia de William Calvin. Este autor propuso que los movimientos balísticos, tales como lanzar proyectiles a un blanco distante, plantean exigencias computacionales especiales al tejido nervioso. Su idea era que la conquista de este problema concreto, originalmente quizá para fines de caza, equipó al cerebro para hacer muchas otras cosas importantes como subproducto.

En una playa de guijarros, Calvin se divertía tirando piedras a un tronco e inadvertidamente la acción lanzó (la metáfora no es accidental) una productiva sucesión de ideas. ¿Qué tipo de computación tiene que hacer el cerebro cuando lanzamos algo a un blanco, tal como nuestros antepasados tuvieron que hacer cada vez de manera creciente mientras desarrollaban el hábito de cazar? Un componente crucial de un tiro preciso es la sincronización. Sea cual sea la acción del brazo que uno prefiera, ya sea lanzar por bajo, bolear o arrojar por alto, o lanzar con efecto de muñeca, el momento exacto en el que uno deja ir el proyectil marca la diferencia. Piénsese acerca de la acción por alto de un boleador en el criquet (el lanzamiento en los bolos difiere del del béisbol en que el brazo debe permanecer recto, y esto hace más fácil pensar en ello). Si se suelta la bola demasiado pronto, vuela sobre la cabeza del bateador. Si se suelta demasiado tarde, se clava en el suelo. ¿Cómo consigue el sistema nervioso la hazaña de liberar el proyectil exactamente en el momento preciso, ajustado a la velocidad del movimiento del brazo? A diferencia de una arremetida con la espada, en la que se puede corregir la puntería hasta el mismo momento de llegar al blanco, bolear o lanzar es un problema balístico. El proyectil abandona la mano y a partir de entonces está fuera de nuestro control. Hay otros movimientos de destreza, como clavar un clavo con un martillo, que son efectivamente balísticos, aunque la herramienta o el arma no abandone nuestra mano. Todo el cómputo debe hacerse por adelantado: «navegación a estima».

Una manera de resolver el problema del momento de liberar una piedra o una lanza cuando se arrojan sería computar las contracciones necesarias de los músculos individuales al vuelo, mientras el brazo está en movimiento. Los ordenadores digitales modernos serían capaces de esta hazaña, pero el cerebro es demasiado lento. Calvin razonó, en cambio, que el sistema nervioso, al ser lento, se desenvolvería mejor

con una memoria amortiguadora de órdenes rutinarias a los músculos. Toda la secuencia de lanzar una bola de críquet, o de arrojar una lanza, está preprogramada en el cerebro como una lista prerregistrada de órdenes de crispamiento de músculos individuales, empaquetadas en el orden en el que deben emitirse.

Es evidente que los blancos más distantes son más difíciles de acertar. Calvin desempolvó sus libros de física y encontró la manera de calcular la «ventana de lanzamiento» decreciente a medida que uno intenta mantener la precisión para lanzamientos cada vez más largos. La expresión «ventana de lanzamiento» pertenece a la jerga espacial. Los científicos expertos en cohetes (esa profesión proverbialmente talentosa) calculan la ventana de oportunidad durante la cual deben lanzar una nave espacial si quieren llegar, pongamos por caso, a la Luna. Si se dispara demasiado pronto, o demasiado tarde, se yerra el lanzamiento. Calvin calculó que la ventana de lanzamiento para un blanco del tamaño de un conejo situado a cuatro metros de distancia tenía unos 11 milisegundos de anchura. Si dejaba ir su piedra demasiado pronto, ésta pasaba por encima del conejo. Si la sostenía durante demasiado tiempo, su piedra se quedaba corta. La diferencia entre demasiado corta y demasiado larga era de sólo 11 milisegundos, cerca de una centésima de segundo. Puesto que es un experto en la temporización de las neuronas, esto preocupó a Calvin, porque sabía que el margen normal de error de una célula nerviosa es superior a esta ventana de lanzamiento. Pero también sabía que los seres humanos que son buenos lanzadores son capaces de alcanzar un blanco tal a esa distancia, incluso corriendo. Yo mismo no he olvidado nunca el espectáculo de mi contemporáneo de Oxford, el nabab de Pataudi (uno de los más grandes jugadores de críquet de la India, incluso después de haber perdido un ojo), jugando por la universidad y lanzando la bola con velocidad y precisión devastadoras a la meta, una y otra vez, incluso mientras corría a una velocidad que intimidaba visiblemente a los bateadores al tiempo que aumentaba la puntuación de su equipo.

Calvin tenía un misterio que resolver. ¿Cómo es que lanzamos tan bien? La respuesta, decidió, tiene que residir en la ley de los grandes números. No hay un solo circuito de temporización que pueda conseguir la precisión de un cazador !Kung que arroja una lanza, o de un jugador de críquet que dispara una bola. Tiene que haber muchísimos

circuitos de temporización trabajando en paralelo, y sus efectos tienen que promediarse para alcanzar la decisión final de cuándo liberar el proyectil. Y ahora llega el quid de la cuestión. Después de haber desarrollado una población de circuitos de temporización y secuenciación para un determinado fin, ¿por qué no dedicarlos a otros propósitos? El propio lenguaje se basa en la secuenciación precisa. Lo mismo ocurre con la música, la danza, incluso el pensar planes para el futuro. ¿Pudo el lanzamiento haber sido el precursor del discernimiento mismo? Cuando lanzamos nuestra mente hacia delante en la imaginación, ¿estamos haciendo algo casi literal, al tiempo que metafórico? Cuando se emitió la primera palabra, en algún lugar de África, ¿estaba el hablante imaginándose a sí mismo lanzando un proyectil desde su boca a su pretendido oyente?

Mi cuarto candidato para el programa que toma parte en la coevolución de programa/circuitería es el «meme», la unidad de herencia cultural. Ya hemos aludido a él al comentar el «despegue» de los supervenías, como si de una epidemia se tratara. Aquí me serviré de libros de mis colegas Daniel Dennett y Susan Blackmore, que se cuentan entre los diversos teóricos del meme desde que la palabra se acuñó por primera vez en 1976. Los genes se replican, y son copiados de padres a hijos a lo largo de las generaciones. Un meme es, por analogía, cualquier cosa que se replica a sí misma de un cerebro a otro, a través de cualquier medio disponible de copia. Puede discutirse si la semejanza entre gen y meme es poesía científica buena o mala. En conjunto, sigo pensando que es buena, aunque si uno busca el término en la red se encontrará con multitud de ejemplos de entusiastas que se han dejado llevar y han ido demasiado lejos. Incluso parece que está surgiendo algún tipo de religión del meme; me cuesta decidir si se trata de una broma o no.

Mi esposa y yo padecemos ocasionalmente insomnio cuando se apodera de nuestra mente una melodía que se repite una y otra vez en la cabeza, de manera implacable y sin compasión, a lo largo de toda la noche. Determinadas melodías son culpables especialmente malos, por ejemplo «Masochism Tango» (Tango del masoquismo), de Tom Lehrer. La música no tiene excesivo mérito (a diferencia de la letra, que rima de manera brillante), pero es imposible quitársela de encima una vez te tiene en su poder. Ahora hemos establecido un pacto en el sen-

tido de que, si tenemos una de las canciones peligrosas en el cerebro durante el día (Lennon y McCartney son otros culpables principales), bajo ninguna circunstancia la cantaremos o la silbaremos cuando llegue la hora de acostarnos, por miedo a infectar al otro. Esta idea de que una canción en un cerebro puede «infectar» a otro cerebro es pura jerga memética.

Lo mismo puede ocurrir cuando uno está despierto. Dennett cuenta la siguiente anécdota en *Darwin's Dangerous Idea* (1995):

El otro día me sentí avergonzado (consternado) cuando me di cuenta de que mientras andaba estaba tarareando una melodía para mí mismo. No era un tema de Haydn o Brahms, ni de Charlie Parker o incluso de Bob Dylan: estaba tarareando enérgicamente «It takes two to tango» (Hacen falta dos para bailar el tango), un ejemplo deprimente y completamente irredento de canción huera para los oídos que fue inexplicablemente popular en algún momento de la década de los cincuenta. Estoy seguro de que nunca en mi vida he elegido esta melodía, nunca me ha gustado esta melodía ni de ningún modo la he juzgado mejor que el silencio, pero ahí estaba, un horrible virus musical, al menos tan robusto en el acervo mé-mico como cualquier melodía que realmente estime. Y ahora, para empeorar las cosas, he resucitado el virus en muchos de los lectores, que sin duda me maldecirán durante los próximos días cuando se encuentren a sí mismos tarareando, por primera vez en cerca de treinta años, esta latosa canción.

Para mí, el retintín exasperante es, con mucha frecuencia, no una canción, sino una frase que se repite sin cesar, no una frase con algún significado evidente, sólo un fragmento de lenguaje que yo, o alguna otra persona, ha dicho quizá en algún momento del día. No está claro por qué se escoge una determinada frase o canción, pero, una vez allí, es extraordinariamente difícil cambiarla. Se repite una y otra vez. En 1876, Mark Twain escribió un relato corto, «Una pesadilla literaria». En él, su mente era asaltada por un ridículo fragmento de instrucción versificada a un conductor de autobús con una máquina de billetes, cuyo estribillo era «Perfore en presencia del pasajero».

Perfore en presencia del pasajero
Perfore en presencia del pasajero

Posee un ritmo parecido al de un mantra, y casi no me atrevía a citarlo por miedo a infectar al lector. Me estuvo dando vueltas por la cabeza durante todo un día después de haber leído el relato de Mark Twain. El narrador de Twain se libró finalmente del estribillo cuando se lo pasó al vicario, que a su vez se volvió loco. Este aspecto de «cerdo gadareno»⁴ del relato (la idea de que cuando se pasa un meme a alguna otra persona uno lo pierde) es la única parte que no suena verosímil. El hecho de infectar a otra persona con un meme no significa que uno limpie su cerebro del mismo.

Los memes pueden ser buenas ideas, buenas canciones, buenos poemas, así como mantras que se pronuncian bobamente. Cualquier cosa que se propaga por imitación, al igual que los genes se propagan por reproducción corporal o infección vírica, es un meme. El principal interés de los memes es que existe al menos la posibilidad teórica de una verdadera selección darwiniana de memes, en paralelo a la familiar selección de genes. Los memes que se extienden lo hacen porque son buenos a la hora de diseminarse. El estribillo implacable de Dennett, como el de mi mujer y el mío, era un tango. ¿Acaso hay algo insidioso en el ritmo del tango? Bueno, necesitamos más indicios. Pero la idea general de que algunos memes pueden ser más infectantes que otros debido a sus propiedades inherentes es suficientemente razonable.

Al igual que pasa con los genes, podemos esperar que el mundo se llene de memes que son buenos en el arte de ser copiados de un cerebro a otro. Podemos advertir que algunos memes, como el estribillo de Mark Twain, poseen realmente esta propiedad, aunque no seamos capaces de analizar qué es lo que se la confiere. Basta con que los memes varíen en su carácter infeccioso para que la selección darwiniana se ponga en marcha. A veces podemos averiguar qué es lo que tiene un meme que le ayuda a propagarse. Dennett advierte que el meme de la teoría de la conspiración posee una respuesta integrada a la objeción de que no hay pruebas suficientes de la conspiración: «Naturalmente que no; ¡esto indica lo potente que es la conspiración!».

4. Que va a la muerte con el rebaño (de Mateo, 8:29-34). (*N. del T.*)

Los genes se propagan por la simple razón de su efectividad de parásito, como en un virus. Podemos pensar que esta propagación por la propagación es bastante fútil, pero a la naturaleza no le interesan nuestros juicios, de futilidad o de lo que sea. Si un fragmento de código tiene lo que hace falta, se propaga y eso es todo. Los genes pueden también propagarse por lo que pensamos que es una razón más «legítima» (porque mejoran la agudeza visual de un halcón, por ejemplo). Son las que se nos ocurren cuando pensamos en el darwinismo. En *Escalando el monte Improbable* expliqué que tanto el ADN de un elefante como el de un virus son programas del tipo «Duplicame». La diferencia es que uno de ellos tiene una divagación grande hasta casi lo fantástico: «Duplicame construyendo primero un elefante». Pero ambos tipos de programa se difunden porque, cada uno a su manera, son buenos a la hora de difundirse. Lo mismo vale para los memes. El retinir de los tangos sobrevive en el cerebro, e infecta a otros cerebros, por razones de pura efectividad parasitaria. Se encuentran cerca del extremo vírico del espectro. Las grandes ideas filosóficas, las brillantes intuiciones matemáticas, las técnicas ingeniosas para hacer nudos o construir pucheros, sobreviven en el acervo mémico por razones que están más cerca del extremo «legítimo» o «elefantino» de nuestro espectro darwiniano.

Los memes no podrían extenderse si no fuera por la valiosa tendencia biológica de los individuos a imitar. Existen muchas buenas razones por las que la imitación se vio favorecida por la selección natural convencional que opera sobre los genes. Los individuos que están genéticamente predispuestos a imitar gozan de un acceso rápido a habilidades que a otros les puede haber costado mucho tiempo desarrollar. Uno de los ejemplos más acabados es la extensión de la costumbre de abrir botellas de leche entre los herrerillos europeos. La leche se reparte en botellas, muy temprano, de puerta en puerta en los hogares británicos, y por lo general permanece allí algún tiempo antes de ser retirada. Un pájaro es capaz de perforar el cierre, pero no es ésta una cosa que resulte evidente para un pájaro. Lo que ocurrió es que una serie de asaltos epidémicos a la parte superior de botellas de leche por parte de herrerillos comunes (*Parus caeruleus*) se extendió a partir de focos geográficos discretos en Gran Bretaña. Epidémicos es exactamente la palabra adecuada. Los zoólogos James Fisher y Robert Hinde

podieron documentar la expansión de la costumbre en la década de los cuarenta, cuando se propagó por imitación a partir de los puntos focales desde los que empezó, descubierta presumiblemente por unos cuantos pájaros aislados: islas de inventiva y fundadores de epidemias de memes.

Se pueden contar historias similares de los chimpancés. Pescar termes introduciendo ramitas en un termitero se aprende por imitación. Lo mismo puede decirse de la habilidad de romper nueces con piedras sobre un tocón o una piedra que hacen de yunque, y que se da en algunas áreas locales de África occidental pero no en otras. Nuestros antepasados homínidos aprendieron ciertamente pericias vitales al imitarse unos a otros. Entre los grupos tribales que sobreviven, la manufactura de utensilios de piedra, la tejeduría, las técnicas de pesca, techar con paja, producir cerámica, encender fuego, cocinar, trabajar el hierro, todas estas habilidades se aprenden por imitación. Linajes de maestros y aprendices son el equivalente memético de los linajes genéticos de antecesores/descendientes. El zoólogo Jonathan Kingdon ha sugerido que algunas de las habilidades de nuestros antecesores empezaron cuando los seres humanos imitaron a otras especies. Por ejemplo, las telarañas pudieron haber inspirado la invención de redes de pesca y de cuerdas y cordeles, los nidos de los tejedores la invención de nudos o la construcción de techos de bálago.

Los memes, a diferencia de los genes, no parecen haberse unido para construir «vehículos» grandes (los cuerpos) para alojarse juntos y sobrevivir. Los memes delegan en los vehículos construidos por los genes (a menos, como se ha sugerido, que se considere que Internet es un vehículo de memes). Pero los memes manipulan el comportamiento de los cuerpos vivos, y con no menos efectividad. La analogía entre evolución genética y memética empieza a ponerse interesante cuando aplicamos nuestra lección del «cooperador egoísta». Los memes, al igual que los genes, sobreviven en presencia de otros memes. Una mente puede estar predispuesta, por la presencia de determinados memes, a mostrarse receptiva a otros memes concretos. Así como el acervo génico de una especie se convierte en un colectivo cooperativo de genes, del mismo modo un grupo de mentes (una «cultura», una «tradición») se convierte en un colectivo cooperativo de memes, lo que podemos llamar un memepleso o complejo de memes. Como en el caso de los

genes, es un error considerar que todo el colectivo es una unidad que es seleccionada como una entidad única. La manera adecuada de verlo es en términos de memes que se ayudan mutuamente, cada uno de los cuales proporciona un ambiente que favorece a los demás. Cualesquiera que sean las limitaciones de la teoría de los memes, pienso que la idea de que una cultura o una tradición, una religión o una tendencia política crecen según el modelo del «cooperador egoísta» es, probablemente, al menos una parte importante de la verdad.

Dennett evoca vividamente la imagen de la mente como un vivero hirviente de memes. Incluso va más lejos, al defender la hipótesis de que «la conciencia humana es *en sí misma* un enorme complejo de memes...». Esto lo hace, junto a muchas otras cosas, de manera persuasiva y extensa, en su libro *La conciencia explicada* (1991). Posiblemente no podría resumir la intrincada serie de argumentos de este libro, de manera que me contentaré con otra cita característica más:

El refugio al que todos los memes necesitan llegar es la mente humana, pero una mente humana es en sí misma un artefacto creado cuando los memes reestructuran un cerebro humano con el fin de hacer de él un habitat mejor para memes. Las vías de entrada y de salida son modificadas para adaptarse a las condiciones locales, y reforzadas mediante varios dispositivos artificiales que aumentan la fidelidad y la prolijidad de replicación: las mentes de los chinos nativos difieren espectacularmente de las de los franceses nativos, y las mentes letradas difieren de las iletradas. Lo que los memes proporcionan a cambio a los organismos en los que residen es un almacén incalculable de ventajas... con algunos caballos de Troya intercalados para dar el peso... Pero si es cierto que las mentes humanas son ellas mismas, en una medida muy grande, la creación de memes, entonces la polaridad de visión que consideramos anteriormente no puede sostenerse; no puede ser «los memes frente a nosotros», porque las infestaciones anteriores de memes ya han desempeñado un papel principal en determinar quiénes o qué somos.

Hay una ecología de los memes, una pluvisilva tropical de memes, un termi-tero de memes. Los memes no sólo saltan de una mente a otra por imitación, en la cultura. Esta es sólo la punta fácilmente visible del

iceberg. También prosperan, se multiplican y compiten dentro de nuestras mentes. Cuando anunciamos al mundo una buena idea, ¿quién sabe qué selección subconsciente cuasidarwiniana ha estado funcionando entre bastidores dentro de nuestra cabeza? Nuestra mente es invadida por memes del mismo modo que las antiguas bacterias invadieron las células de nuestros antepasados y se convirtieron en mitocondrias. Parecidos al gato de Cheshire, los memes se funden en nuestra mente, se convierten incluso en nuestra mente, de la misma manera que las células eucariotas son colonias de mitocondrias, cloroplastos y otras bacterias. Esto suena como una fórmula perfecta para las espirales coevolutivas y el aumento del cerebro humano, pero, específicamente, ¿qué es lo que impulsa la espiral? ¿Dónde reside la autoalimentación, el elemento de «cuanto más tienes, más obtienes»?

Susan Blackmore aborda esta pregunta planteándose otra: «¿A quién imitarás?» A los individuos que son mejores en la destreza que sea, desde luego, pero hay una respuesta más general a la pregunta. Blackmore sugiere que uno debe elegir imitar a los mejores imitadores, pues es más probable que hayan adquirido las mejores habilidades. Y su siguiente pregunta, «¿Con quién te aparearás?» se contesta de manera similar. Uno se aparear con los mejores imitadores de los memes más modernos. De modo que los memes no sólo se seleccionan por su capacidad de diseminarse, los genes se seleccionan en la selección darwiniana ordinaria por su capacidad para producir individuos que son buenos a la hora de diseminar memes. No quisiera robarle la idea a la Dra. Blackmore, pues he tenido el privilegio de ver un borrador de su libro *The Meme Machine [La máquina de memes]* (1999). Señalaré simplemente que aquí tenemos coevolución de programa/circuitería. Los genes construyen la circuitería. Los memes son el programa. La coevolución es lo que pudo haber impulsado la inflación del cerebro humano.

Dije que volvería a la ilusión del «hombrecillo en el cerebro». No para resolver el problema de la consciencia, que está mucho más allá de mi capacidad, sino para hacer otra comparación entre memes y genes. En *The Extended Phenotype [El fenotipo ampliado]* argumentaba yo contra el hecho de dar por sentado el organismo individual. No quería decir individual en el sentido consciente, sino en el sentido de un cuerpo único y coherente rodeado de una piel y dedicado a una finali-

dad más o menos unitaria de sobrevivir y reproducirse. El organismo individual, aducía, no es fundamental para la vida, sino algo que surge cuando los genes, que al principio de la evolución eran entidades separadas y que luchaban entre sí, se unen para formar grupos cooperativos, como «cooperadores egoístas». El organismo individual no es exactamente una ilusión. Es demasiado concreto para esto. Pero es un fenómeno secundario, derivado, un todo ensamblado como consecuencia de las acciones de agentes fundamentalmente separados, incluso en lucha. No desarrollaré la hipótesis, sino que únicamente lanzaré la idea, siguiendo a Dennett y Blackmore, de una comparación con los memes. Quizás el «yo» subjetivo, la persona que siento que soy, es el mismo tipo de semiilusión. La mente es un conjunto de agentes fundamentalmente independientes, incluso antagonistas. Marvin Minsky, el padre de la inteligencia artificial, tituló *The Society of Mind [La sociedad de la mente]* su libro de 1985. Haya o no que identificar a estos agentes con los memes, el aspecto que estoy señalando ahora es que la sensación subjetiva de que «ahí dentro hay alguien» puede ser una semiilusión ensamblada, emergente, análoga al cuerpo individual que surge en la evolución a partir de la cooperación incómoda de los genes.

Pero esto era un aparte. He estado buscando innovaciones de programa que pudieran haber puesto en movimiento una espiral autoalimentada de coevolución de programa/circuitería que explicara el hinchamiento del cerebro humano. Hasta aquí he mencionado el lenguaje, la lectura de mapas, lanzar objetos y los memes. Otra posibilidad es la selección sexual, que introduje como una analogía para explicar el principio de la coevolución explosiva; pero ¿pudo haber impulsado realmente el aumento del cerebro humano? ¿Impresionaron nuestros antecesores a sus parejas mediante una especie de cola de pavo real mental? ¿Se vio favorecida la circuitería ampliada por sus manifestaciones ostentosas de programa, como la capacidad de recordar los pasos de una danza ritual de complicación formidable? Quizá.

Muchas personas encontrarán que el lenguaje es, por sí mismo, el candidato más persuasivo y a la vez más claro para un disparador programático de la expansión del cerebro, y me gustaría volver a él desde otro punto de vista. Terrence Deacon, en *The Symbolic Species [La especie simbólica]* (1997), aborda el lenguaje de manera parecida al meme:

No es descabellado pensar en los lenguajes un poco como pensamos en los virus, dejando de lado la diferencia en los efectos constructivos en relación a los destructivos. Los lenguajes son artefactos inanimados, patrones de sonidos y garabatos sobre arcilla o papel, que resulta que se introducen en las actividades del cerebro humano que replica sus partes, las reúne en sistemas y las transmite. El hecho de que la información replicada que constituye un lenguaje no esté organizada en un ser animado no la excluye en modo alguno de ser una entidad adaptativa integrada que evoluciona con respecto a los patrones humanos.

Deacon continúa con una preferencia por un modelo «simbiótico» y no virulentamente parásito, y formula de nuevo la comparación con las mitocondrias y otras bacterias simbiotas en las células. Los lenguajes evolucionan para ser buenos a la hora de infectar el cerebro de los niños. Pero el cerebro de los niños, esas orugas mentales, también evolucionan para ser buenos a la hora de ser infectados por el lenguaje: de nuevo la coevolución.

C.S. Lewis, en «Bluspis and Flalansferes» (1939), nos recuerda el aforismo del filólogo de que nuestro lenguaje está lleno de metáforas muertas. En su ensayo de 1844 «El poeta», el filósofo y poeta Ralph Waldo Emerson dijo: «El lenguaje es poesía fósil». Si no todas nuestras palabras, un gran número de ellas, ciertamente, empezó como metáforas. Lewis menciona «atender», que en algún momento significó «extender». Si atiendo a alguien, extendiendo hacia él mis oídos. «Capto» el significado de lo que me dice mientras «suelta» su tema y «remacha» el «clavo». Nos «introducimos» en un tema, «abrimos» una «línea» de pensamiento. He escogido deliberadamente casos cuyo origen metafórico es reciente y, por lo tanto, accesible. Los eruditos en filología ahondarán más (¿ve el lector lo que quiero decir?) y demostrarán que incluso palabras cuyo origen es menos evidente fueron antaño metáforas, quizás en un lenguaje muerto (¿lo capta el lector?). El propio término lenguaje procede de la palabra latina que significa lengua.

Acabo de comprarme un diccionario de jerga contemporánea porque me desconcertó que algunos lectores norteamericanos del manuscrito de este libro me dijeran que algunas de mis palabras inglesas favoritas no serían entendidas al otro lado del Atlántico. *Mug*, por ejem-

pío, que significa «tonto, primo o simplón», no se entiende allí. En general, me he asegurado de buscar en el diccionario los términos de jerga que sean en la actualidad universales en el mundo anglófono. Pero me ha intrigado más la sorprendente creatividad de nuestra especie a la hora de inventar un suministro inacabable de nuevas palabras y usos. «Aparcamiento en paralelo» y «desatascar tus cañerías» por copular; «caja tonta» por televisión; «aparcar un flan» por vomitar; «Navidad en un palo» por una persona engreída; «nixon» por acuerdo fraudulento; «bocadillo de mermelada»⁵ por coche de policía; estas expresiones de jerigonza representan el filo cortante de una sorprendente riqueza de innovación semántica; e ilustran perfectamente la tesis de C.S. Lewis. ¿Fue así como empezaron todas nuestras palabras?

Al igual que en los «mapas de huellas de pisadas», me pregunto si la capacidad de expresar significados en términos de parecidos simbólicos a otras cosas pudo haber sido el avance crucial en el programa que propulsó la evolución del cerebro humano por encima del umbral en una espiral coevolutiva. Utilizamos la palabra «mastodóntico» como adjetivo sinónimo de «muy grande». ¿Acaso el avance de nuestros antepasados en semántica pudo haberse producido cuando algún genio poético presapiente, mientras se esforzaba por transmitir la idea de «grande» en algún contexto muy distinto dio con la idea de imitar, o dibujar, un mastodonte? ¿Pudo éste haber sido el tipo de avance en el programa que dio el empujoncito para que la humanidad se lanzara a una explosión de coevolución de programa/circuitería? Quizá no fue este ejemplo concreto, porque la idea de tamaño grande se transmite muy fácilmente mediante el gesto universal de la mano que tanto gusta a los pescadores jactanciosos. Pero incluso esto es un avance programático sobre la comunicación del chimpancé en la naturaleza. ¿Y qué hay de imitar a la gacela para *significar* la gracia delicada y tímida de una muchacha, en una anticipación pliocénica del verso de Yeats «Dos muchachas, ambas hermosas, una de ellas una gacela» («*Two girls, both beautiful, one a gazelle*»)? ¿Y qué hay de asperjar agua de una calabaza para significar no sólo la lluvia, que es casi demasiado obvio, sino lágrimas cuando se pretende comunicar tristeza? ¿Acaso pudieron

5. *Jam sandwich*; *jam* es, entre otras cosas, mermelada y embotellamiento de tránsito. (N. del T.)

nuestros remotos antepasados *habilis o erectus* haber imaginado (y haber descubierto trascendentalmente la manera de expresar) una imagen como la «lluvia sollozante» (*sobbing rain*) de John Keats? (Aunque, incidentalmente, las lágrimas mismas son un misterio evolutivo no resuelto.)

Como quiera que empezara, y fuese cual fuese su papel en la evolución del lenguaje, nosotros, seres humanos, de manera única entre toda la estirpe animal, tenemos el don poético de la metáfora; de reconocer cuándo las cosas son como otras cosas y de utilizar la relación como una palanca para nuestros pensamientos y sentimientos. Éste es un aspecto del don de imaginar. Quizá fue *ésta* la innovación clave en el programa que desencadenó nuestra espiral coevolutiva. Podríamos pensar en ella como el avance clave en el programa de simulación del mundo que fue el tema del capítulo anterior. Quizá fue el paso desde la realidad virtual forzada, en la que el cerebro simula un modelo de lo que los órganos de los sentidos le están diciendo, hasta la realidad virtual no forzada, en la que el cerebro simula cosas que no están realmente allí en aquel momento: imaginación, ensoñaciones, cálculos sobre futuros hipotéticos del tipo «¿qué pasaría si?». Y esto, finalmente, nos lleva de nuevo a la ciencia poética y al tema dominante de todo el libro.

Podemos tomar la realidad virtual en nuestra cabeza y emanciparla de la tiranía de simular sólo la realidad utilitaria. Podemos imaginar mundos posibles, así como los que son. Podemos imaginar futuros posibles así como pasados ancestrales. Con la ayuda de memorias externas y artefactos manipuladores de símbolos (papeles y lápices, abacos y ordenadores) estamos en disposición de construir un modelo operacional del universo y hacerlo funcionar en nuestra cabeza antes de que muramos.

Podemos salir del universo, en el sentido de meter un modelo del universo *dentro* de nuestro cráneo. No un modelo supersticioso, mezquino, provinciano, lleno de espíritus y de tragos, astrología y magia, que brilla con falsas ollas de oro allí donde termina el arco iris. Un modelo grande, merecedor de la realidad que regula, pone al día y atempera; un modelo de estrellas y grandes distancias, en el que la noble curva del espaciotiempo de Einstein le roba la escena a la curva del arco de la alianza de Yahvé y lo reduce a su tamaño real; un modelo

potente, que incorpora el pasado, nos conduce a través del presente y es capaz de avanzar una gran distancia para ofrecer detalladas construcciones de futuros alternativos y de permitirnos elegir.

Sólo los seres humanos guían su comportamiento por un conocimiento de lo que sucedió antes de que nacieran y una idea preconcebida de lo que puede suceder después de haber muerto: así, sólo los seres humanos encuentran su camino mediante una luz que ilumina más que el pedazo de terreno en el que se encuentran.

P.B. y J.S. Medawar, *The Life Science [La ciencia de la vida]* (1977)

La luz del proyector pasa pero, de manera estimulante, antes de hacerlo nos da tiempo para comprender algo de este lugar en el que nos encontramos fugazmente y la razón por la que lo hacemos. Somos únicos entre los animales porque prevemos nuestro final. También somos únicos entre los animales porque somos capaces de decir antes de morir: sí, por esto es por lo que valió la pena venir a la vida en primera instancia.

¡ Ahora más que nunca parece espléndido morir, Cesar a
la medianoche sin ningún dolor, Mientras tú emites tu alma
a borbotones En un tal éxtasis!⁶

John Keats, «Oda a un ruiseñor» (1820)

Un Keats y un Newton que se escucharan mutuamente podrían oír cantar las galaxias.

6. *Now more than ever seems it rich to die, / To cease upon the midnight with no pain, / While thou art pouring forth thy soul abroad / In such an ecstasy!*

Apéndices

Bibliografía

1. Alvarez, W., *T. rex and the Cráter of Doom*, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, 1997. [Trad. esp.: *Tyrannosaurus rex y el cráter de la muerte*. Crítica, Barcelona, 1998.]
2. Appleyard, B., *Understanding the Present*, Picador, Londres, 1992.
3. Asimov, I., *The Book of Facts, Volume 2*, Hodder & Stoughton, Londres, 1979.
4. Atkins, P.W., *The Second Law*, Scientific American, Nueva York, 1984. [Trad. esp.: *La segunda ley*. Prensa Científica, Barcelona, 1992.]
5. Atkins, P.W., *Creation Revisited*, Freeman, Oxford, 1992. [Trad. . esp.: *Cómo crear el mundo*. Crítica, Barcelona, 1995.]
6. Attneave, R., «Informational aspects of visual perception», *Psychological Reviews*, 61 (1954), págs. 183-193.
7. Barkow, J.H., L. Cosmides y J. Tooby, *The Adapted Mind*, Oxford University Press, Nueva York, 1992.
8. Barlow, H.B., «The coding of sensory messages», en W.H. Thorpe y O.L. Zangwill, eds., *Current Problems in Animal Behaviour*, Cambridge University Press, Cambridge, 1963, págs. 331-360.
9. Barrow, J.D., *Impossibility: The Limits of Science and the Science of Limits*, Oxford University Press, Oxford, 1998. [Trad. esp.: *Imposibilidad: los límites de la ciencia y la ciencia de los límites*, Gedisa, Barcelona, 1999.]
10. Blackmore, S., *The Meme Machine*, Oxford University Press, Oxford, 1999.

11. Bodmer, W. y R. McKie, *The Book of Man: The Quest to Discover Our Genetic Heritage*, Little Brown, Londres, 1994.
12. Bragg, M., *On Giants' Shoulders*, Hodder & Stoughton, Londres, 1998.
13. Brockman, J., *The Third Culture*, Simón & Schuster, Nueva York, 1995.
[Trad. esp.: *La tercera cultura. Más allá de la revolución científica*, Tusquets (Metatemas 43), Barcelona, 1996.]
14. Brockman, J. y K. Matson, eds., *How Things Are: A Science Tool-kit for the Mind*, Phoenix, Londres, 1996. [Trad. esp.: *Así son las cosas. Una caja de herramientas científicas para la mente*. Círculo de Lectores, Barcelona, 1996.]
15. Cairns-Smith, A.G., *Evolving the Mind*, Cambridge University Press, Cambridge, 1996.
16. Calvin, W.H., *The Cerebral Symphony*, Bantam Books, Nueva York, 1989.
17. Calvin, W.H., *How Brains Think*, Weidenfeld & Nicolson, Londres, 1996.
18. Carey, J., *The Faber Book of Science*, Faber & Faber, Londres, 1995.
19. Cartmill, M., «Oppressed by evolution», *Discover*, marzo (1998), págs. 78-83.
20. Clarke, A.C., *Profiles of the Future*, Victor Gollancz, Londres, 1982.
21. Conway Morris, S., *The Crucible of Creation*. Oxford University Press, Oxford, 1998.
22. Cook, E., *John Keats*, Oxford University Press, Oxford, 1990.
23. Craik, K.J.W., *The Nature of Explanarian*, Cambridge University Press, Londres, 1943.
24. Crick, E., *The Astonishing Hypothesis*, Scribners, Nueva York, 1994. [Trad. esp.: *La búsqueda científica del alma. Una revolucionaria hipótesis para el siglo XXI*, Debate, Madrid, 1994.]
25. Cronin, H., *The Ant and the Peacock*, Cambridge University Press, Cambridge, 1991.
26. Darwin, C., 1859, *On the Origin of Species*, Penguin Books, Londres, 1968. [Trad. esp.: *El origen de las especies por medio de la selección natural*, Bru-guera, Barcelona, 1967.]
27. Davies, N.B., *Dunnock Behaviour and Social Evolution*, Oxford University Press, Oxford, 1992.

28. Dawkins, M.S., *Through Our Eyes Only?*, Freeman, Oxford, 1993.
29. Dawkins, R., *The Extended Phenotype*, Oxford University Press, Oxford, 1982.
30. Dawkins, **R.**, *The Blind Watchmaker*, Penguin, Londres, 1986. [Trad. esp.: *El relojero ciego*. Labor, Barcelona, 1988.]
31. Dawkins, R., *The Selfish Gene*, 2^a ed., Oxford University Press, Oxford, 1989. [Trad. esp.: *El gen egoísta*, Salvat, Barcelona, 1982.]
32. Dawkins, R., *River Out of Eden*, Weidenfeld & Nicolson, Londres, 1995.
33. Dawkins, **R.**, *Climbing Mount Improbable*, Norton, Nueva York, 1996. [Trad. esp.: *Escalando el monte Improbable*, Tusquets Editores (Metatemas 53), Barcelona, 1998.]
34. Dawkins, R., «The values of science and the science of values», en J. Ree & C.W.C. Williams, eds., *The Values of Science: The Oxford Amnesty Lectures 1997*, Westview Press, Boulder, Coló., 1998.
35. de Waal, E., *Good Natured*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1996. [Trad. esp.: *Bien natural. Los orígenes del bien y del mal en los humanos y otros animales*, Barcelona, Herder, 1997.]
36. Deacon, T., *The Symbolic Species*, Alien Lañe, Londres, 1997.
37. Deán, G., A. Mather y I.W. Kelly, «Astrology», en G. Stein, ed., *The Encyclopedia of the Paranormal*, Prometheus Books, Amherst, Nueva York, 1996, págs. 47-99.
38. Dennett, D C., *Consciousness Explained*, Little, Brown, Bostón, 1991. [Trad. esp.: *La conciencia explicada. Una teoría interdisciplinar*, Barcelona, Paidós, 1995.]
39. Dennett, D.C., *Darwin's Dangerous Idea*, Simón & Schuster, Nueva York, 1995.
40. Deutsch, D., *The Fabric of Reality*, Alien Lañe, Londres, 1997. [Trad. esp.: *La estructura de la realidad*. Anagrama, Barcelona, 1999.]
41. Dunbar, R., *The Trouble with Science*, Faber & Faber, Londres, 1995.
42. Durham, W.H., *Coevolution: Genes, Culture and Human Diversity*, Stanford University Press, Stanford, 1991.
43. Dyson, F., *Imagined Worlds*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1997. [Trad. esp.: *Mundos del futuro*. Crítica, Barcelona, 1998.]

44. Eddington, A., *The Nature of the Physical World*, Cambridge University Press, Cambridge, 1928.
45. Ehrenreich, B. y J. McIntosh, «The new creationism», *The Nation*, 9 junio, 1997.
46. Einstein, A., *Relativity: The Special and the General Theory*, Bonanza Books, Nueva York, 1961. [Trad. esp.: *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*. Alianza Editorial, Madrid, 1984.]
47. Eiseley, L., *The Firmament of Time*, Víctor Gollancz, Londres, 1982.
48. Evans, C., *The Mighty Micro*, Víctor Gollancz, Londres, 1979.
49. Feller, W., *An Introduction to Probability Theory and its Applications*, Wiley International, Nueva York, 1957.
50. Feynman, R.P., *The Character of Physical Law*, Penguin, Londres, 1965. [Trad. esp.: *El carácter de la ley física*, Tusquets Editores, Barcelona, en preparación.]
51. Feynman, R.P., *The Meaning of It All*, Penguin, Londres, 1998. [Trad. esp.: *Qué significa todo eso*. Crítica, Barcelona, 1999.]
52. Fisher, J. y R. A. Hinde, «The opening of milk bottles by birds», *British Birds*, 42 (1949), págs. 347-357.
53. Ford, E.B., *Ecological Genetics*, Chapman & Hall, Londres, 1975.
54. Frazer, J.G., *The Golden Bough*, Macmillan, Londres, 1922. [Trad. esp.: *La rama dorada: magia y religión*. Fondo de Cultura Económica, México, 1961.]
55. Freeman, D., *The Fateful Hoaxing of Margaret Mead: An Historical Analysis of Her Samoan Researches*, Westview Press, Boulder, Coló., 1998.
56. Fruman, N., *Coleridge, the Damaged Archangel*, Alien y ünwin, Londres, 1971.
57. Good, I.J., «When batterer tums murderer», *Nature*, 375 (1995), pág.541.
58. Gould, S.J., «Eternal metaphors of paleontology», en A. Hallam, ed., *Patterns of Evolution, As Illustrated by the Fossil Record*, Elsevier, Amsterdam, 1977, págs. 1-26.
59. Gould, S.J., *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History*, Hutchinson Radius, Londres, 1989. [Trad. esp.: *La vida maravillosa. Burgess Shale y la naturaleza de la historia*. Crítica, Barcelona, 1991.]

60. Gregory, **R.L.**, *Mind in Science: A History of Explanations in Psychology and Physics*, Weidenfeld & Nicolson, Londres, 1981.
61. Gregory, R.L., *Eye and Brain*, 5ª edición, Oxford University Press, Oxford, 1998. [Trad. esp. de la 1ª ed. inglesa: *Ojo y cerebro. Psicología de la visión*. Guadarrama. Madrid. 1965.]
62. Gribbin, J. y J. Cherfas, *The Monkey Puzzle*, The Bodley Head, Londres, 1982.
63. Gross, P.R. y Levitt, N., *Higher Superstition: The Academic Left and its Quarrels with Science*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1994.
64. Hamilton, W.D., *Narrow Roads of Gene Land: The Collected Papers of W.D. Hamilton. Vol. 1. Evolution of Social Behaviour*, Freeman/Spektrum, Oxford, 1996.
65. Hardin, C.L., *Color for Philosophers: Unweaving the Rainbow*, Hackett, Indianapolis, 1988.
66. Heath-Stubbs, J. y P. Salmon, eds., *Poems of Science*, Penguin, Londres, 1984.
67. Hoffmann, B., *Einstein*, Paladín, Londres, 1973. [Trad. esp.: *Einstein*, Salvat, Barcelona, 1995.]
68. Holldobler, B. y E.O. Wilson, *The Ants*, Springer, Berlín, 1990.
69. Hoyie, F., *Man in the Universe*, Columbia University Press, Nueva York, 1966.
70. Hume, D., *An Enquiry Concerning Human Understanding*, «Of Miracles», Oxford University Press, Oxford (L.A. Selby-Bige, ed., 1902), 1748. [Trad. esp.: *Investigación sobre el conocimiento humano*, Alianza Editorial, Madrid, 1997.]
71. Humphrey, N., *Soul Searching*, Chatto & Windus, Londres, 1995.
71. Humphrey, N., «What shall we tell the children?», en J. Ree y C.W.C. Williams, eds., *The Values of Science: The Oxford Amnesty Lectures 1997*, Westview Press, Boulder, Coló. 1998.
72. Huxley, T.H., *Collected Essays*, Macmillan, Londres, 1894.
73. Jerison, H., *Evolution of the Brain and Intelligence*, Academic Press, Nueva York, 1973.
74. Jones, S., *The Language of the Genes*, Harper-Collins, Londres, 1993.
75. Jones, S., R. Martín, y D. Pilbeam, eds., *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.

76. Julesz, B., *Dialogues on Perception*, MIT Press, Cambridge, Mass., 1995.
77. Jung, C.G., *Memories, Dreams, Reflections*, Fontana, Londres, 1969. [Trad. esp.: *Recuerdos, sueños, pensamientos*, Seix Barral, Barcelona, 1989.]
78. Kauffman, S., *The Origins of Order*, Oxford University Press, Nueva York, 1993.
79. Kauffman, S., *At Home in the Universe*, Oxford University Press, Nueva York, 1995.
80. Keller, H., *The Story of My Life*, Doubleday, Nueva York, 1902.
81. Kelly, I.W., «Modern astrology: a critique», *Psychological Reports*, 81 (1997), págs. 1035-1066.
82. Kendrew, S.J., ed., *The Encyclopedia of Molecular Biology*, Blackwell, Oxford, 1994.
83. Kingdon, J., *Self-made Man and His Undoing*, Simón & Schuster, Londres, 1993.
84. Koertge, N., «How feminism is now alienating women from science», *Skeptical Inquirer*, 19 (1995), págs. 42-43.
85. Koesüer, A., *The Roots of Coincidence*, Random House, Nueva York, 1972. [Trad. esp.: *Las raíces del azar*, Kairós, Barcelona, 1974.]
86. Krawczak, M. y J. Schmidtke, *ADN Fingerprinting*, Bios Scientific Publishers, Oxford, 1994.
87. Kurtz, P. y Madigan, T.J., eds., *Challenges to the Enlightenment*, Prometheus, Buffalo, Nueva York, 1994.
88. Lamb, T. y J. Bourriau, eds., *Colour: Art & Science*, Cambridge University Press, Cambridge, 1995. 89-Leakey, R., *The Origin of Humankind*, Weidenfeld & Nicolson, Londres, 1994.
90. Leakey, R. y R. Lewin, *Origins Reconsidered*, Little, Brown, Londres, 1992. [Trad. esp.: *Nuestros orígenes. En busca de lo que nos hace humanos*. Crítica, Barcelona, 1994.]
91. Leakey, R. y R. Lewin, *The Sixth Extinction*, Weidenfeld & Nicolson, Londres, 1996. [Trad. esp.: *La sexta extinción*, Tusquets Editores (Metatemas 50), Barcelona, 1997.]
92. Lettvin, J.Y., H.R. Maturana, W.H. Pitts y W.S. McCulloch, «Two remarks on the visual system of the frog», en W.A. Rosenblith, ed., *Sensory Communication*, MIT Press, Cambridge, Mass., 1961.

93. Lewis, C.S., «Bluspeis and Flalansferes», Capítulo 7 de C.S. Lewis, *Rehabilitaions and other Essays*. Oxford University Press, Oxford, 1939.
94. Lieberman, P, *Uniquely Human: The Evolution of Speech, Thought, and Seifless Behavior*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1991.
95. Lofting, H., *Doctor Dolitúe in the Moon*, Jonathan Cape, Londres, 1929.
96. Lovelock, J.E., *Gaia*, Oxford University Press, Oxford, 1979. [Trad. esp.: *Gaia. Una nueva visión de la vida sobre la Tierra*, H. Blume, Madrid, 1983.]
97. Margulis, L., *Symbiosis in Cell Evolution*, Freeman, San Francisco, 1981.
98. Margulis, L. y D. Sagan, *Microcosmos: Four BUlion Years of Mi-crobial Evolution*, Alien & Unwin, Londres, 1987. [Trad. esp.: *Microcosmos. Cuatro mil millones de años de evolución microbiana*, Tusquets, Barcelona, 1995.]
99. Maynard Smith, J., «The importance of the nervous system in the evolution of animal flight», en *On Evolution*, Edinburgh University Press, Edimburgo, 1972.
100. Maynard Smith, J., *The Theory of Evolution*, Cambridge University Press, Cambridge, 1993.
101. Maynard Smith, J., «Genes, Memes and Minds», *The New York Review ofBooks*, 30 noviembre 1995, págs. 46-48.
102. Medawar, P.B., *Pluto's Republic*, Oxford University Press, Oxford, 1982.
103. Medawar, **P.B.** y J.S. Medawar, *The Life Science*, Wildwood House, Londres, 1977.
104. Medawar, P.B. y J.S. Medawar, *Aristotle to Zoos*, Weidenféld & Nicolson, Londres, 1984.
105. Miller, G.F, «Political Peacocks», *Demos*, 10 (1996) págs. 9-11.
106. Minsky, M., *The Society ofMind*, Simón & Schuster, Nueva York, 1987.
107. Mollon, J., «Seeing colour», en T. Lamb y J. Bourriau, eds., *Colour: Art & Science*, Cambridge University Press, Cambridge, 1995, págs. 127-150.

108. Monod, J., *Chance and Necessity: An Essay on the Natural [sic] Philosophy of Modern Biology*, Fontana, Glasgow, 1970. [Trad. esp.: *El azar y la necesidad. Ensayo sobre la filosofía natural de la biología moderna*, Tusquets Editores (Metatemas 6), Barcelona, 1971.]
109. Monis, D., *Animal Days*, William Morrow, Nueva York, 1979.
110. Muller, R., *N emesis: The Death Star*, William Heinemann, Londres, 1988.
111. Myhrvold, N., «Nathan's Law» (entrevista con Lance Knobel), *Worldlink*, Fórum Económico Mundial, 1998, págs. 17-20.
112. Nesse, R. y G.C. Williams, *Evolution and Healing: The New Science of Darwinian Medicine*, Weidenfeld & Nicolson, Londres, 1994.
113. Partington, A., ed., *The Oxford Dictionary of Quotations*, Oxford University Press, Oxford, 1992.
114. Peieris, R.E., *The Laws of Nature*, Scribners, Nueva York, 1956.
115. Penrose, A.P.D., ed., *The Autobiography and Memoirs of Benjamín Robert Haydon, 1786-1846*, G. Bell, Londres, 1927.
116. Penrose, R., *The Emperor's New Mind*, Vintage, Londres, 1990. [Trad. esp.: *La nueva mente del emperador*, Grijalbo Mondadori, Barcelona, 1995.]
117. Pinker, S., *The Language Instinct*, Viking, Londres, 1994. [Trad. esp.: *El instinto del lenguaje*. Alianza Universidad, Madrid, 1996.]
118. Pinker, S., *How the Mind Works*, Alien Lañe, Londres, 1997.
119. Poikinghome, J.C., *The Quantum World*, Longman, Harlow, 1984.
120. Randi, J., *Flim-Flam*, Prometheus, Buffalo, NY, 1982.
121. Rees, M., *Before the Beginning*, Simón & Schuster, Londres, 1997. [Trad. esp.: *Antes del principio: el cosmos y otros universos*, Tusquets Editores (Metatemas 57), Barcelona, 1999.]
122. Rheingóid, H., *Virtual Reality*, Secker & Warburg, Londres, 1991.
123. Ridley, M., *Evolution*, Blackweil, Londres, 1996.
124. Ridley, M., *The Origins of Virtue*, Viking, Londres, 1996.
125. Rothschild, M. y T. Clay, *Fleas, Flukes and Cuchóos*, Collins, Londres, 1952.
126. Sagan, C., *Cosmos*, Macdonaid, Londres, 1980. [Trad. esp.: *Cosmos*, Planeta, Barcelona, 1982.]

127. Sagan, C., *Palé Blue Dot*, Headline, Londres, 1995. [Trad. esp.: *Un punto azul pálido*. Planeta, Barcelona, 1998.]
128. Sagan, C., *The Demon-Haunted World*, Random House, Nueva York, 1996. [Trad. esp.: *El mundo y sus demonios*. Planeta, Barcelona, 1997.]
129. Sagan, C. y A. Druyan, *Shadows of Forgotten Ancestors*, Random House, Nueva York, 1992. [Trad. esp.: *Sombras de antepasados olvidados*. Planeta, Barcelona, 1993.]
130. Scott, A., *Basic Nature*, Basil Blackwell, Oxford, 1991.
131. Shermer, M., *Why People Believe Weird Things*, Freeman, Nueva York, 1997.
132. Singer, C., *A Short History of Biology*, Clarendon Press, Oxford, 1931.
133. Smith, D.C., «From extracellular to intracellular: the establishment of a symbiosis», en M.H. Richmond y D.C. Smith, eds., *The Cell as a Habitat*, The Royal Society of London, Londres, 1979.
134. Smolin, L., *The Life of the Cosmos*, Weidenfeld & Nicolson, Londres, 1997.
135. Snow, C.R., *The Two Cultures and A Second Look*, Cambridge University Press, Cambridge, 1959. [Trad. esp.: *Las dos culturas y un segundo enfoque*. Alianza Editorial, Madrid. 1977.]
136. Sokal, A. & Bricmont, J. *Intellectual Impostures*, Profile, Londres, 1998. [Trad. cast.: *Imposturas intelectuales*, Paidós, Barcelona, 1999.]
137. Stannard, R., *The Time and Space of Únele Albert*, Faber & Faber, Londres, 1989.
138. Stenger, V.J., *Physics and Psychics*, Prometheus, Buffalo, NY, 1990.
139. Storr, A., *Feet of Clay: A Study of Gurús*, HarperCollins, Londres, 1996.
140. Sutherland, S., *Irrationality: The Enemy Within*, Constable, Londres, 1992. [Trad. esp.: *Irracionalidad: el enemigo interior*, Alianza Editorial, Madrid, 1996]
141. Thomas, J.M., *Michael Faraday and the Royal Institution*, Adam Hilger, Bristol, 1991.
142. Tiger, L., *Optimism: The Biology of Hope*, Simón & Schuster, Nueva York, 1979.

143. Twain, M., «A literary nightmare», *Atlantic*, enero, 1876.
144. Vermeij, G.J., *Evolution and Escalation: An Ecológica*. *History of Life*, Princeton University Press, Princeton, 1987.
145. von Holst, E., *The Behavioural Physiology of Animals and Man: The Selected Papers of Erich von Holst*, Methuen, Londres, 1973.
146. Vyse, S.A., *Believing in Magic: The Psychology of Superstition*, Oxford University Press, Nueva York, 1997.
147. Watson, J.D., *The Double Helix*. Atheneum, Nueva York, 1968. [Trad. esp.: *La doble hélice*, Salvat, Barcelona, 1987.]
148. Weinberg, S., *Dreams of a Final Theory*, Vintage, Londres, 1993. [Trad. esp.: *El sueño de una teoría final*. Crítica, Barcelona, 1994.]
149. Whelan, R., *The Book of Rainbows: Art, Literature, Science, and Mythology*, First Glance, Cobb, Calif, 1997.
150. White, M. y J. Gribbin, *Einstein: A Life in Science*, Simón & Schuster, Londres, 1993.
151. Williams, G.C., *Plan and Purpose in Nature*, Weidenfeld & Nicolson, Londres, 1996.
152. Wills, C., *The Runaway Brain*. Basic Books, Nueva York, 1993.
153. Wiison, E.O., *Consilience*, Alfred A. Knopf, Nueva York, 1998. [Trad. esp.: *Consiliencia*, Galaxia Gutemberg, Barcelona, 1999.]
154. Wolpert, L., *The Unnatural Nature of Science*, Faber & Paber, Londres, 1992.
155. Yeats, W.B., *Collected Poems*, Macmillan, Londres, 1950.

Índice onomástico y de materias

Los números entre paréntesis remiten a las obras numeradas en la bibliografía.

- Abraham 234
- abuela de Lettvin 274
- ácaros 257
- acentores comunes 262, 264-265, 266, 268
- acervos génicos 237-238, 270, 272
 - que aprenden de la «experiencia» 253-254
- Adams, Douglas 45
- ADN
 - «crees en el ADN?» 207 (45)
 - basura 113-114 (87)
 - cantidades en las distintas especies 112
 - de parásitos 242-243 (29)
 - egoísta/ultraegoísta 113 (31)
 - estructura helicoidal 204
 - reflejo de mundos ancestrales 255, 270-271
 - «repeticiones en doblete» 113-117 (83, 87)
 - significado simbólico, 200
 - sonda de 115 (83, 87)
 - y Rosalind Franklin 207 (148)
 - véase también* genes
- ADN, huella de 99-101, 104-107, 129 (87)
 - base de datos DNA nacional de 124-128
 - contexto de la técnica 110-116
 - de locus único 118
 - objeciones a las pruebas basadas en el 108-124
 - técnica 115-118
 - y estadística 106, 110, 119-124
- aeroplanos, escepticismo sobre los 147, 148 (20)
 - falta de escepticismo sobre los 155-156
- Afrikaners, enfermedad genética de los 119 (11)
- Akenside, Mark 55
- altruismo, individual y egoísmo genético 229 (31, 125)
- alucinaciones 298
- Americanos Nativos, y el hombre de Kennewick 35
- análisis de Fourier 89-90, 91, 92
- anestesia de la familiaridad 23
- anillos de los árboles 98
- animal como modelo del mundo 256
- aniversario, coincidencia 170-173
- «aparato optomotor» 296
- Appleyard, Bryan 53 (2)

arañas, moscas que imitan a 307, 309-310
 arco iris 62-66 (150)
 armónico 87
 artes, inversión en las 22
 Asamblea Popular 35
 ascendencia, y DNA
 método de la huella 107, 128
 Asimov, Isaac 44, 135, 159 (3)
 asteroides, y extinciones en masa 93 (1)
 astrología 132-141, 202-203 (37)
 astrología 137-138, 140-141
 astronomía 132-133, 135 (122, 127,
 128)
At Home in the Universe (S. Kauff-
 man) 219, 223 (80)
 Atkins, Peter, 34, 47 (40)
 analogía de natación para la refracción 61-62 (5)
 Attneave, Fred 275 (6, 8) Aude n.W.H.31,216 A
australopithecus 305, 306 (90)
 aves
 abrir botellas de leche 322 (52)
 canto 95-97
 control del vuelo 290 (100)
 cromosomas sexuales 252
 mantenimiento constante del mundo visual 296
 palomas en cajas de Skinner 180-183
 aztecas 198 (54)

bacterias 25 (99)
 espiroquetas 244-245, 246-247
 luminosas 245
 orgánulo 244-245
 y la hipótesis Gaia 239-240 (97)
 Barlow, Horace 273 (8)
 Bellamy, David 141 belleza 79-80
Beyond Belief (serie de televisión)
 143-144
 Big Bang , teoría del 76 (122, 135)
 bigotes 103
 Blackmore, Susan 319, 325-326 (10)
 Blake, William 32-33
 bocallave visual 274-275
 bombas atómicas 307-308
 bononos 228-229
Book of Rainbows (R. Whelan) 64 (150)
 bordes, información sensorial de los 278
 Bormann, Martín 107
 borrón de Southem 117 (83, 87)
 Bragg, Melvyn 48 (12)
 Bricmont, Jean 58 (137)
 Brockman, John (13, 14)
 Brooke, M. 262, 265-267, 268 (27)
 Browne, Sir Thomas, *Urne Buriall*
 30
 Bumell, Jocelyn Bell 50-51

Cain, A.J. 270 (53)
 cajas de Skinner 180-182

calamar, cambio de color 23-24
Calvin, William 24, 317-319 (16,17)
Cámbrico, evolución en el 216, 219, 221,223,224,225(21,59)
 explosión del, 218, 220
camuflaje, 256
canciones, repetidas en la mente 319-320 (39)
cangrejos ermitaños 257
canto del grillo 86
caracoles, polimórficos 269-270 (53)
caras ansia del cerebro para construir 282-285
 reconocimiento 102-104, 273-275, 282
Carey, John 51-52 (18)
carrera armamentista 249 (30, 145)
Cartmill, Matt 36-37 (19)
casualidad, explotada por los psíquicos 163-5
CDs (discos láser) 96
célula, estructura complicada 25
células retinianas 72, 278
cerebro
 evolución 303-313 (74, 153)
 como ordenador de abordo 303-304
 protegido de la información redundante 275-280 (6, 8)
cerradura de combinación 166
Chandrasekhar, Subrahanyan 79-80 (122)
Chardin, Teilhard de 201-203 (103)
Chaucer, Geoffrey 267, 268
chimpancés 314, 323 (35)
 pigmeos (bonobos) 228-229
chivos expiatorios 199-200 (54)
ciclo de Krebs 25
ciclos de población depredador-presa 91
ciclos, longitud de onda larga 90-93
ciencia (40, 41, 51, 60, 88, 103, 129, 149,154)
 ciencia poética mala 197-225 (58, 59)
 «estupidización» de la 37-40
 frente a intuición 195-196 (155)
 percepción por parte de la sociedad 46-53(34,41,155)
 poética y el sentido de maravilla 31-53,58-59,79(128,129)
 uso de 21-22
 y cultura 34-37 (136, 154)
 y jurados potenciales 99-101
ciencia ficción 44-46, 53
cientología 44 cilios 244-245, 246 (98)
cirujano virtual 287-289
Clarke, Arthur C. 44, 146-147
 su Tercera Ley 146, 149 (20)
cloroplastos 244-245 (98)
código de barras, 66, 88, 98, 117-118
coevolución 248-249 (42)
 coadaptación 248, 249, 250, 307, 308-309
 coevolución de autoalimentación del cerebro humano 306, 309, 311-329(153)
coincidencias 163-178, 193-195
Coleride, Samuel Taylor 57-58, 64
 (56) color 61(89)
 visión del color 69-70, 73-74
«comercio», poco interés de los ingleses por el 49
cometas que impactan en la Tierra 92-
 93(1, 111)
Cómo crear el mundo (P. Atkins) 61 (5)

compañías de seguros 123-127
 Comte, Auguste 67-68
 comunicación, por los primeros seres
 humanos 313, 314-316
 concepción 17-18
 Conferencias de Navidad de la Institución Real 39, 163, 309 (142)
Consciencia explicada. La (D.C. Dennett) 324 (38)
 consonantes, 94-95
 constelaciones 133
 Conway Monis, Simón 224 (21)
 cooperación genética 230-237, 240- 241,245-250, 254
 cósmicos rayos 69
 Cottrell, Sir Alan 48
 «creacionistas seculares» 37 (19,45)
 criaturas, fabulosas 153, 154, 210, 227
 Crick, Francis 105, 207, 285 (24, 148)
 cromosomas sexuales 252, 263 (11)
 cromosomas (11)
 sexuales 252
 de «repeticiones en doblete» 113-115, 116,117-118(87)
 Cromwell, Oliver, su vejiga 196
 sus arrugas 284
Crucible of Creation, The (S. Conway
 Morris) 224 (21)
 crucifixión 200 (54)
 cubo de Necker 292 (61)
 cucos 262-268 (27)
 culto de la «Puerta del Cielo» 44
 cultura (42)
 relativismo en ciencia 34-38 (63)
 estereotipos 136, 137

Da Vinci, Leonardo 64
Daily Mail periódico, complaciente con la astrología 132
 Dalrymple, Theodore 124
 Darwin, Charles, *El Origen de las especies* 32 (26)
 Darwin, Erasmus 34
Darwin's Dangerous Idea (D.C. Dennett) 224, 320 (39)
 Davies, N. 262, 265-268 (27)
 Davy, Sir Humphry 57 (142)
 de Waal, Frans 228, 229 (35)
 Deacon, Terrence 326 (36)
 Deán, G. 139 (37)
 dendrocronología 98
 Dennett, D.C. 223, 224, 299, 319, 320, 324 (38, 39)
 desplazamiento Doppler 75, 78
 «detectoras de bichos» 279 (93)
 detectoras de líneas y visión 278
 Deutsch, David 67 (40)
 Diamond, Manan C. 303
 Diana, Princesa de Gales 132, 142
 diapasones 84-85
 «Diario de un penique. El» 251
 Dickinson, Emily 83
 dictadores, bigotes 103
 Dios, buen darwinista 234
 discos láser 96
 diseño experimental 184-185

diversidad, evolución de la 217-218 (101,124)
división de especies 217 (124)
Doctor Dolittle 70 (96)
Doppler, Christian 75
Doyie, Sir Arthur Conan 153 (121)
drogas, canto de los pájaros que actuaría como 96-97
Druyan, AnnB1 (130)
Dunnock Behaviour and Social Evolution (N.B. Davies) 262 (27)
«Duplicame» 322 (33)
Eddington, Sir Arthur 59, 126, 152 (44)
Edimburgo, Príncipe Felipe, duque de, 107
Ehrenreich, Barbara 207 (45)
Einstein, Albert 59 (46, 138)
Eldredge, Niles 212, 213
electroforesis, en gel 116-117 (87)
elefante, pene pendulante 89-90
elementos Fraunhofer 67, 68
Elton, Charles 90
Ellsworth, Phoebe 207 (45)
emoción y poesía 95
endoscopia 272-274
enfermedad de la vacas locas 71
enzimas 70-71
 de restricción 116 (83, 87)

errores, negativo falso y positivo falso
 (type 1 and type 2) 109-110, 188-194

Escalando el monte Improbable (R.
 Dawkins) 282, 322 (33)

escepticismo 146-154, 158-160 (71,
 121, 129, 139, 147)

escritura 104
 relacionada con el sexo 184-187

especies como ordenador promediador 255

espectro electromagnético 69-70, 75
 véase también luz espectroscopia 68-69 (89)

espiroquetas 244-245, 246-247

esqueletos, identificación 107-108

estadística 184
 animales como practicante de, 180-181 (28)
 significación estadística 187-188
 y coincidencia 164-178, 193-195 (141)
 y conducta supersticiosa 181-184 (28)
 y patrones en la naturaleza 177-181

estereotipo 136-137 estrellas
 año del nacimiento 134
 binarias 78-79, 93
 estudio utilizando espectroscopia 68-69

Estructura de la realidad. La (D,
 Deutsch) 67 (40)

«estupidización» 38-40

Evans, Christopher 305 (48)

evidencia a partir de testigos presenciales 101-102

evolución (101, 124)
 del cerebro humano 303-330 (153)
 evolucionismo general 209-210
 gradual frente a episódica 211-216
 oposición a 37
 teoría de «arriba abajo» 219, 220-223

y catastrofismo 214-215
 y ciencia poética mala 209-211, 213-214, 223-225
véase también coevolución
 exorcista, decidido pero fraudulento 138
Expediente X (serie de televisión) 44
 «experiencia» de los genes 252-254
 «*experimentum crucis*» (Newton) 59-60
 experimento de la parálisis del músculo ocular (Kommuller) 296-297 (146)
Extended Phenotype, The (R. Dawkins) 325 (29)
 extinciones en masa 91-94, 212, 215-216, 239-240
 extraterrestres, *véase* vida extraterrestre

Faber Book of Science, The 51 (18)
 Faraday, Michael 21, 39, 203 (142)
 Fátima, Nuestra Señora de 150-152
 felices de estar vivos 17-22
 feminismo, y ciencia poética mala 206-209 (63, 85)
 fenómeno subjetivo 19 (69)
 fenómenos psíquicos 163-165, 167-170 (71, 129, 139)
 Feynman, Richard 58-59, 67, 168-169 (50,51)
 flagelos bacterianos 245
 focas 254
 fontanero virtual 289
 Ford, E. B. 231-232 (53)
 formantes 94
 fósiles, edad de los, 25-30
 fotones 60
 Frankiin, Rosalind 207 (148)
 Frazer, Sir James 197-198, 199, 200 (54)
 Freeman, Derek 228 (55)
 Frost, David 143, 144
 fuego descubierto por los seres humanos 27

 galaxias, luz procedente de 75-76
 gales, idioma 74
 gato de Cheshire 243-244, 325 (134)
 gaviotas, planeo 290
Gen egoísta. El (R. Dawkins) 229-230, 233 (31) género o sexo 261 (118)
 genes que reflejan la química marina, 271-272
 genes
 «clima» genético 231-232, 235
 cooperativos 230-231
 «conexión» 231-232
 «distorsionadores de segregación» 224
 los genes egoístas también son cooperativos 227, 250, 254 (31)
 que describen mundos antiguos 251-272
 que sobreviven en mundos virtuales 300-301
 variación 110
 véase también DNA
 «gentes» 263 (27)
 Gilf, A.A. 50
 giros y vértigo 295-296
 Goldschmidt, Richard 212-213
 Good, U. 123 (57)
 Gould, Stephen Jay 210-219, 223 (58, 59)
 «gradualismo» 215 (30, 32, 33)

Gran Cañón 30
 Gregory, Richard 39, 292 (61, 62)
 Gross, Paul 36, 208 (63)
Guerra de los mundos, La (emisión radiofónica) 154

hábitos religiosos 197-200 (54)
 hadas 153(121)
 Haldane, J.B.S. 209
 Hardin, Sandra 208 (63)
 harenes, de focas 254
 Haydon, Benjamín 55 (116)
 herbívoro 237
 herreros, que abren botellas de leche 322 (52)
 híbridos 231-233
Higher Superstition (Gross y Levitt) 208 (63)
 «hipótesis de la explosión de puntos
 de ramificación» 218, 225
 hipótesis Gaia 239-240 (29, 97)
 historia, y nuestra existencia 18-19 Hitler, Adolf 79, 127
 Hobbes, Thomas 203
 holandeses sudafricanos, enfermedad
 de los 119(11)
 Holst, Erich von 296-297 (146)
Homo sapiens
 aumento del tamaño cerebral 304-305,306
 lenguaje y comunicación 313, 314
véase también seres humanos homínulo 299 (38)
 hormigas 268-269 (68)
 hormigueros, osos y cerdos 258
How the Mind Works (S. Pinker) 196,
 201,208,294(119)
 Hubbard, L. Ron 44
 Hubble, Edwin 76
 huellas, leer las 314-316
 humanos
 evolución del cerebro 303-330 (153)
 impresionados por las coincidencias 194-195
véase también Homo sapiens
 Hume, David 150-152 (71, 139)
 Humphrey, Nicholas 170 (71, 72)
 Huxley, T. H. 195 (73)

identificación, revista de 102-103, 109-110
 ilusión 292, 293 (61)
 ilusión de la máscara hueca 283-285
 ilusiones del Ojo mágico 294 (119)
 imágenes de «falso color» 73-74
 imágenes de satélite con «falso color» 73
 Imagería de Resonancia Magnética 75
 imaginación 329-330
 imitación, por parte de individuos
 322-323, 325
Imposturas in telectuales (Sokal y
 Bricmont) 58 (137)
 impulsos nervioso y visión de los colores 72-73 (89)
Independent!, periódico 122
 información sensorial redundante
 274-281 (6, 8)
 información, significado técnico de la 275

infrarrojos, rayos 69
inhibición lateral 278 (8)
insectos
 oídos 85-86
 sociales 268-269
 y realidad virtual 296
Interfaz Gráfico de Usuario (GUI)
 310-311(112)
intuición 193, 195

James, William 192
Jeffreys, Alee 114
Jenkins, Simón 53
jerarquías de dominancia 253
jerga, 327-328
jesuitas 161
jugadores irracionales 183 (141)
Julesz, Bela 294(77,119)
Jung, C.G. 172 (78)
Júpiter 78
jurados, versados en ciencia 99-101

Kammerer, Paúl 175 (86)
Kauffman, Stuart 219-220, 221, 223 (79,80)
Keats, John 43, 55-56, 58, 77, 79-80, 95-96,97, 163, 330 (22)
Kelvin, William Thomson, Lord 146 (20)
Keller, Helen 273 (81)
Kennewick, el Hombre de 35
Kimura, Motoo 111 (124)
Kingdon, Jonathan 323 (84)
Koertga, Noretta 206 (85)
Koestler, Arthur 172, 174-175 (86)
Kropotkin, Peter 228

Lamb, Charles 55-56, 31 (116)
Lanier, Jaron 288
lanzamiento y evolución del cerebro humano 316-319 (16)
Lawrence, D.H. 41. 68
Leakey, Richard 221-223, 258 (90, 91,92)
lenguaje 311, 312, 313, 326, 327, 328
 (36,95,118,119)
Lettvin, J. Y. 274-275, 279-280 (93)
Levin, Bernard 47-48
Levin, Margarita 208-209 (63)
Levitt, Norman 208 (63)
Lewin, Roger 221-223 (91, 92)
Lewis, C.S. 203, 327 (94)
ley de Hubbles 76
ley de Moore 305-306, 309, 311 (112)
Ley de Zipf 280
ley
 y evidencia basada en el DNA 99-129
 y evidencia basada en testigos presenciales 101-102
libro de códigos 281
líneas de Fraunhofer 66-67, 75
listas de supervenías, 308 (30)
Lorenz, Konrad 47
Lovelock, James 239, 240-241 (97)

Lucy 305 (90, 91) Luna 68
influencias rítmicas de la 91 luz
divisibilidad y el arco iris 56, 57, 58-59, 66
índice de refracción 61
roja/azul desplazada 75-76, 78
teoría ondulatoria de la 60
velocidad 61
y el efecto electromagnético 69

MacCready, Paúl 291
macromutaciones 212, 213, 214
magia homeopática 197-198 (54)
magos 144, 145-146
mala poesía en ciencia 197,204 (58,59)
mamíferosacuáticos 258-261
DNA que refleja ambientes ancestrales 271-272
mapas, y evolución del cerebro humano 314-316
máquinas que examinan el iris 104-105
Margulis, Lynn 240-241, 242, 244-245 (98, 99)
mariposas 261
masa crítica 308
Maynard Smith, John 223-224, 239, 291 (100,101,102)
Mcintosh, Janet 207 (45)
Mead, Margaret 228 (55)Medawar, P.B. 47, 49, 201-202, 330 (103, 104, 105)
membranas en las células 25
meme de la teoría de la conspiración 321 (39)
Meme Machine, The (S. Blackmore) 325 (10)
memeplejos 232 (10)
memes 323-326 (10, 31, 38, 39)
memoria colectiva 273
Mengele, Josef 107, 128
metáforas eternas de la paleontología 210-215 (58)
metáforas, y evolución del cerebro humano 327-230
metano 239-240
microondas 69
milagros 149-150 (71, 129)
Minsky, M. 326 (107)
misticismo 33 (71, 129)
mitocondrias 25, 242-244 (98, 134)
Mixotricha en el tubo digestivo de termites 246-247 (98)
modelo del mundo 293 (23) animal como 256
Mollon, John 74 (108)
Monod, Jacques 203 (109)
monos, visión del color 74 (108)
Montgomery, 234
Monty Python 136
moscas
crear una ilusión visual en 296-297
que imitan a arañas saltadoras 307,
309 vuelo 290, 291 (100)
movimiento perpetuo 152
murciélagos, y sonido 87, 89 y modelo del mundo 299 (31)
música 52, 87-89
mutaciones 212, 213-214, 251-252 y huella de DNA 111, 114
Myhrvold, Naman 311 (112)

natación, adaptaciones a la 258

Nehru, Jawaharlal 46
 Nemesis estrella hipotética 93 (111)
 Neptuno, descubrimiento de 77 (122)
New York Review of Books (J. Maynard Smith) 223-224 (102)
 Newcomb, Simón 147 (20)
 Newton, Sir Isaac 208, 330
 su prisma 55-57, 59-60 (89) niños,
 credulidad en los 155-160 (147)
 Nube de Oort 93(II)

O'Reilly, John Boyle 31 oído 83-89 oídos 83, 85-87
 véase también audición
 Ojo y cerebro (R. Gregory) 292 (61)
 ojos, y visión de los colores 70-73 (89)
 olfato, reconocer a personas por el 104-105
On Giants' Shoulders (M. Bragg) 48 (12)
 ondas de radio 69
 ondas periódicas 83-99
 ondas sinusoidales 86-87
 oportunidades de coincidencia 176- 177, 195
 ordenadores
 avances en 309-311 (48, 112)
 comparados con el cerebro 303-
 304, 305, 306
Origen de las especies. El (C. Darwin) 32 (26)
orugas 157, 190, 261

palomas en una caja de Skinner 180- 183, 189(28)
 Papá Noel 158
 PAQPC, definición 169
 paranormalismo 141-146 (37, 71, 121,
 129, 139)
 y credulidad 155-161 (141, 147)
 parásitos 242-243, 257 (29, 113)
 Parsonstown, Leviatán de (telescopio) 42
 paternidad véase ascendencia
 patrones reales e imaginarios 177-179
 PCR (reacción en cadena de la polimerasa) 108 (87)
 Peake, Mervyn 17
 peces pescadores de caña 191-192, 261
 pensar 24
 personalidad, y astrología 135-136
Physics and Psy chics (V. Stenger) 205 (139)
 Pickering, William Henry 147-148 (29)
 pieles, y ciclos depredador-presa 91
 pies palmeados 258, 260
 Pinker, Steven 196, 201, 208, 248
 (118, 119)
 plántulas escubrimiento 77
 fuera de nuestro sistema solar 78
 platillos volantes 138, 139 Pies, Mrs. 305
 Plutón, descubrimiento 77
 pluvisilva tropical 238-239
 pluvisilvas y supervivencia de los genes 238, 239
 poesía
 mala ciencia poética 197-224
 y ciencia 31-34, 40-44
 polillas, menor de alas amarillas 231-
 232 (53)
 polimorfismo 270 (11, 53)

postmodernismo 58 (63, 137)
 Preminger, Otto 135
 presión 83-84
 Presley, Elvis 142
 Principio de mínima acción 61 (5)
 priones 71 prismas 59-61
 procesos que se autoalimentan 306-311
 y evolución del cerebro humano 308-329
 producción de lluvia 179, 198-199(54)
 programas de vacunación 308
 prosopagnosia 285 (24)
 proteínas (83)
 formas alternativas 111
 priones 71
 Proyecto Genoma Humano 106, 110(11)
 prueba de fiabilidad 139 (37)
 psicología, evolución de la 194 (7,125)
 pterosaurios, vuelo 291 (100)
 pulsares 50 (122)
Punto azul pálido, Un (C. Sagan) 131 (128)

quarks, y Bemard Levin 47-48

Raine, Kathleen 22
Rama dorada. La (J. Frazer) 197 (54)
 Randi, James 140, 145 (121)
 rape 191-192, 261
 ratón, de ordenador 310
 ratones, genes 234-235, 270-271
 rayos ultravioleta 69
 rayos X 69
 reacción en cadena de la polimerasa
 (PCR) 108 (83, 87)
 reacciones en cadena 307-308
 realidad virtual 285-290 (123)
 modelo en el cerebro 277, 278, 281 - 282, 289-301
 reconocimiento sensorial 274-281
 reencarnación 142-143
 refracción, índice de 61, 62
 relatos exagerados 197-200 (54)
 reloj molecular 225 (62, 83) reloj
 iniciales grabadas de forma coincidente en 172-175
 ¿puesto en marcha por fuerzas psíquicas? 165, 167-170
Relojero ciego. El (R. Dawkins) 308-309,310(30)
 remo, analogía del 233 (31)
 Rettenmeyer, C.W. 257
 robo de monedas 120-121
 Romanov, identificación de la familiar 07
 Rothschild, Miriam 257 (126)
 Rowland, Ian 148 ruiseñores 79-80
 Ruskin, John, 66

Sagan, Carl 34,47,79,131,155,241 (127,128, 129, 130)
 Sagan, Dorion 240 (99)
 sangre, ¿parecida al agua de mar? 271
 sapo, con ojos en el techo de la boca 212 (33)
 «selección dependiente de la frecuencia» 112
 selección natural 212, 261 (30, 33,101,124)
 y genes 233-234,237-238, 249

selección sexual 309, 326 (25) s
 señal sensorial del cambio 276
 serpientes, aprender los peligros de las 160
 sexo, y genes 252, 261-262
Sexta extinción. La (Leakey y Lewin) 221 (92)
 Shakespeare, W. 197, 267-268
 Sheppard, P.M. 270 (53)
 Shermer, Michael 204 (132)
 simbiosis 245-247 (98, 134)
 simbolismo 198-201 (54)
 Simonyi, Charles 68
 Singer, Charles 105-106 (133)
 Sitweil, Sacheverell 29
 Smith, Adam 227 Smith, D.C. 243 (134)
 Snow, C.P. 132 (136)
Society of Mind, The (M. Minsky) 326 (107)
 sol
 clasificación 68
 estrella hermana del 93 (111)
 manchas solares 91 sonido 83-89
 canto de las aves 96-97
 habla 94-95
 virtual 276-277
Soul Searching (N. Humphrey) 170 (71)
 Spencer, Herbert 209 (103)
 Spooner, W.A. 103
 Stenger, Víctor 205 (139)
 sueños 176, 298
Sunday Sport 141, 142
 superstición 179-180, 181-184 (28, 71, 129, 147)
Symbolic Species, The (T. Deacon) 326-327 (36) telepatía 144-145 (71, 121, 139)
 teología 200
 teoría cuántica 67, 196 (15, 40, 117, 120, 131, 149)
 y luz 60
 mal uso de 204-205
 teoría de la estrategia alimentaria óptima 181
 teoría del caos y cultura popular 204-205
 teoría neutralista de la evolución 111,
 211-212 (124)
 teoría ondulatoria de la luz 59-60
 termes 268-269, 245-247
 termodinámica, segunda ley de la 152
 (4, 136)
 Thomson, James 80-81
 Thomson, William, Lord Kelvin 146-147 (20)
 tiempo geológico,
 magnitud del 25-30
 tiempo (40, 122, 135)
 enormidad del tiempo geológico 25-30
 inicio del 76
 mirar hacia atrás en el 133-134
 y subjetividad 19-20 (15, 69)
 Tierra
 felices de estar vivos en la 20-21
 y la hipótesis Gaia 239-240
 tono 86
 transmisión longitudinal 243
 transubstanciación 198
 trilobites, edad de los 25-28
 truco de lanzar monedas al aire 164

Twain, Mark 320-321 (144)

undulipodios 245 (98)

unidad de selección 216-217 (29)

universo, expansión del 76-77 (122,135)

Unnatural Nature of Science, The (L. Wolpert) 195 (155)

Urano 77

usanzas mágicas 197-199 (54)

valor de *p* 188, 193

Veda, el Venerable 19

vencejos 256

ventanas de lanzamiento 318 (16)

verdad 37 (88)

Vida maravillosa, La (S. J. Gould)

216, 223 (59) vida

ciencia y la maravilla de la 21-25

e identidad personal 17-31

extraterrestre 77-79, 154-155

y tiempo geológico 25-30

vientos 84

visión (61)

del color 69-74

e información redundante 277-280

y detectores de líneas 278-279

vocales 94-95

Ward, Lalla 135, 172,319

Watson, James D. 105-106, 207 (148)

Watson, Thomas J. 148

Waugh, Evelyn 148

Weldon, Fay 49-50

Whelan, R. 64 (150)

Why People Believe Weird Things

(M.Shermer) 204-205 (132)

Winston, Robert 163

Wolpert, Lewis 47, 195-196 (155)

Wollaston, William 66

Wordsworth,

William 55-56, 64

XeroxPARC310

Yeats, W.B. 42, 43, 251, 316 (156)

«zoología del futuro» 255-256